INSTITUTE OF NEUROLOGY

The
ROCKEFELLER
MEDICAL LIBRARY

Henry Head
Trin. Coll. Camb.

DIE

ATHEMBEWEGUNGEN

UND IHRE BEZIEHUNGEN

ZUM

NERVUS VAGUS.

VON

Dr. J. ROSENTHAL,

ASSISTENTEN AM PHYSIOLOGISCHEN LABORATORIUM DER UNIVERSITÄT ZU BERLIN.

Mit drei Tafeln.

BERLIN 1862.

VERLAG VON AUGUST HIRSCHWALD.

UNTER DEN LINDEN 68.

Digitized by the Internet Archive
in 2014

https://archive.org/details/b21273005

HERRN

PROFESSOR DR. L. TRAUBE

HOCHACHTUNGSVOLL

ZUGEEIGNET.

WALTER REED MEDICAL LIBRARY
INSTITUTE OF PATHOLOGY
CLASS HISTN
ACCN. 5093
SOURCE recon
DATE

Vorwort.

Die Untersuchungen, welche ich hiermit der Oeffentlichkeit übergebe, haben mich in den letzten zwei Jahren fast ausschliesslich beschäftigt. Nur ein kleiner Theil der Ergebnisse ist in vorläufiger Mittheilung an die Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte zu Königsberg und an die Pariser Academie der Wissenschaften bisher in die Oeffentlichkeit gelangt.

Ursprünglich nur in der Absicht, mir selbst ein Urtheil zu bilden über den langjährigen Streit, welches die Art des Respirationsstillstandes bei Vagusreizung sei, kam ich bald auf Thatsachen, welche die Beziehungen jenes Nerven zu den Athembewegungen in einem anderen Lichte erscheinen liessen, als dies nach den bisherigen Kenntnissen der Fall war. Zugleich schien sich dadurch ein Blick zu eröffnen in den Mechanismus des respiratorischen Centralorganes. Je

dunkeler unsere Anschauungen im Gebiete der Nervenvorgänge, besonders aber derer der Centralorgane noch sind, um so mehr musste mich jene Aussicht anziehen.

Was jenen alten Streit, den Ausgangspunct der Untersuchung, anbetrifft, so gereicht es mir zur besonderen Freude, den Mann wieder in sein Recht einsetzen zu können, welchem die Wissenschaft gerade die erste Kenntniss jenes wichtigen Zusammenhanges verdankt. Je weniger diese Entdeckung bisher vollständig gewürdigt worden, um so mehr fühlt sich der Verfasser geehrt, seine Arbeit mit dem Namen jenes Mannes schmücken zu dürfen.

Berlin, Ende Februar 1862.

INHALT.

Erstes Capitel.

Seite.

Die Regulirung der Athembewegungen 1

Zweites Capitel.

Geschichte 21

Drittes Capitel.

Jetziger Stand der Frage 37

Viertes Capitel.

Beobachtung des Zwerchfells. Der Phrenograph 48

Fünftes Capitel.

Wirkung des Nervus laryngeus superior auf das Zwerchfell 61

Sechstes Capitel.

Einfluss der Vagusdurchschneidung auf die Athembewegungen . . 75

Siebentes Capitel.

Verhalten des Zwerchfells bei Reizung des centralen Vagusstumpfes 126

Achtes Capitel.

Verhalten des Thorax bei Reizung des centralen Vagusstumpfes . . . 144

Neuntes Capitel.

Seite.
Die concomitirenden Athembewegungen bei Reizung des centralen Vagusstumpfes 206

Zehntes Capitel.

Verhalten der Athembewegungen bei Reizung des Laryngeus superior 219

Elftes Capitel.

Einfluss anderer Nerven auf die Athembewegungen 231

Zwölftes Capitel.

Schluss 238

Berichtigung.

Seite 51, Zeile 4 von oben muss es heissen: $\frac{1}{3}$ statt $\frac{1}{2}$.

ERSTES CAPITEL.

Die Regulirung der Athembewegungen.

Die Athembewegungen bieten in Bezug auf Anzahl und Tiefe die grösste Mannichfaltigkeit dar. Nicht blos bei Thieren verschiedener Species, bei derselben Species innerhalb der Geschlechter und Lebensalter, sondern auch bei einem und demselben Individuum in unmittelbar auf einander folgenden Zeiträumen sind die grössten Verschiedenheiten möglich sowohl im Rhythmus der Athmung als in der Tiefe jedes einzelnen Athemzuges, der Zahl der dabei in Thätigkeit gerathenden Muskeln u. s. f. Diese Verschiedenheiten werden zum Theil durch den Willen bewirkt, da dieser bekanntlich auf die an sich ganz unwillkürlich vor sich gehende Athmung doch soweit Einfluss hat, um den Rhythmus oder die Stärke der Bewegung zu ändern, ja sogar die Athmung auf einige Zeit ganz zu unterdrücken; zum Theil aber haben gewisse Zustände des Organismus mit Nothwendigkeit Aenderungen der Athembewegungen zur Folge, und diese zu erklären muss vorzugsweise Aufgabe der experimentalen Physiologie sein.

Für jedes Individuum lassen sich Grenzen angeben, innerhalb welcher die Anzahl der in einer Minute gemachten Athem-

züge bleiben, so lange sich das Individuum unter normalen Verhältnissen befindet. Dasselbe gilt für die Tiefe jedes einzelnen Athemzuges und die Zahl der bei der Athmung wirksamen Muskeln. Dagegen werden diese Grenzen, und zwar zuweilen sehr beträchtlich, in einzelnen Fällen sei es vorübergehend, sei es dauernd überschritten. Es entsteht die Frage, woher kommt die grosse Stetigkeit in dem einen, woher die beträchtlichen Schwankungen in den anderen Fällen?

Beträchtliche Abnahme der Anzahl der Respirationen ist im Allgemeinen ein seltenes Ereigniss. Viel häufiger erscheint eine beträchtliche Zunahme, meist verbunden mit gleichzeitiger Steigerung der Intensität jedes einzelnen Athemzuges. Wir wollen die Zustände, in denen dies letztere eintritt, mit einem der clinischen Medicin entlehnten Namen als „dyspnoëtische" bezeichnen. Ihnen allen ist ein Umstand gemeinsam: eine Verarmung des Blutes an Sauerstoff.

Eine Abnahme des Sauerstoffgehaltes im Blute kann bedingt sein durch vermehrten Verbrauch desselben im Organismus (angestrengte Thätigkeit, fieberhafte Zustände u. s. w.) oder durch verminderten Gaswechsel im Blut (Verkleinerung der Respirationsfläche, erschwerter Zutritt der Luft zu den Lungen, Athmen in sauerstoffarmer Luft u. dgl. m. — Dyspnoe im engeren Sinne der clinischen Medicin). Sehen wir nun in allen diesen Fällen eine Zunahme der Respirationsfrequenz zugleich mit einer gesteigerten Contraction der einzelnen Athemmuskeln und Hinzutritt der Thätigkeit sonst ruhender („accessorischer") Athemmuskeln, so haben wir zu untersuchen, auf welchem Wege jene Abnahme des Sauerstoffes im Blute zu einer vermehrten Thätigkeit des die Athembewegungen anregenden Apparates führt.

Seit den berühmten Versuchen von Legallois u. Flourens wissen wir, dass der Sitz dieses Apparates in einer beschränkten Stelle der Medulla oblongata, am Boden der Rautengrube sich befindet. Wir nehmen an, dass in den Ganglien dieser Stelle

— aus uns unbekannten Gründen — fortwährend die Erregung der zu den betreffenden Muskeln gehenden Nerven entsteht. Unsere Aufgabe lässt sich daher genauer dahin formuliren, zu untersuchen, welche Einflüsse jene Ganglien des „noeud vital" zu vermehrter Thätigkeit anregen, wenn aus irgend einem Grunde der Sauerstoffgehalt des Blutes eine Abnahme erleidet.

Diese Anregung kann offenbar zu Stande kommen, entweder durch directe Reizung jener Ganglien durch das in seiner Zusammensetzung geänderte Blut, oder auf reflectorischem Wege durch Reizung irgendwelcher centripetalleitender Nervenfasern, oder auf beiden Wegen zugleich. Bevor wir uns auf eine Discussion dieser verschiedenen Möglichkeiten einlassen, wird es jedoch nothwendig sein, sich zu verständigen über das, was wir als Ursache der von uns als nothwendig vorausgesetzten Reizung anzusehen haben.

Nicht ohne Grund habe ich in dieser Beziehung stets von vermindertem Sauerstoffgehalt des Blutes gesprochen im Gegensatz zu der gewöhnlichen Ausdrucksweise, welche den vermehrten Kohlensäuregehalt in den Vordergrund stellt. In der That aber geht schon aus dem Umstande, dass Thiere eine sehr beträchtlich mit Kohlensäure geschwängerte Atmosphäre ohne dyspnoëtische Erscheinungen athmen können, wenn nur gleichzeitig der Sauerstoffgehalt der Atmosphäre entsprechend gesteigert ist, dass dagegen in rein indifferenten Gasen, wie Stickstoff und Wasserstoff, athmende Thiere alle Erscheinungen der Dyspnoe zeigen, aus diesen bekannten Thatsachen, sage ich, geht schon mit grosser Bestimmtheit hervor, dass es sich bei der Entstehung der Dyspnoe, d. h. der vermehrten Thätigkeit der Athemorgane, weniger um die Anhäufung der Kohlensäure im Blute, als um das Verschwinden des Sauerstoffes aus demselben handele. Traube[1]) hat dies auch durch den directen Versuch

[1]) Diese Versuche sind mitgetheilt in der Dissertation von Marcuse: De suffocationis imminentis causis et curatione. Berol. 1858.

nachgewiesen. Wenn er nämlich einem Thiere die Brusthöhle öffnete, die Lungen vielfach mit einer Nadel durchstach, und nun atmosphärische Luft oder Sauerstoff durch die Trachea einblies, welche aus den feinen Oeffnungen der Lunge entwich, so hörten die dyspnoëtischen Erscheinungen sogleich auf. Dieselben dauerten jedoch ungeändert fort, wenn statt des Sauerstoffs Stickstoff oder Wasserstoff durch die Lungen getrieben wurde, obgleich doch in diesem Falle mit dem Sauerstoffe auch die Kohlensäure des Blutes entfernt wurde. Daraus scheint zu folgen, dass nicht der vermehrte Gehalt an Kohlensäure, sondern der verminderte Gehalt an Sauerstoff es sei, welcher in der Dyspnoe die mittelbare oder unmittelbare Reizung des respiratorischen Centralorgans bewirkt. Zwar könnte jemand den Einwand machen, dass es unlogisch sei, den Mangel an Sauerstoff als einen Reiz aufzufassen, dass vielmehr wie in einem Falle die Kohlensäure so im anderen der Stickstoff, beziehungsweise Wasserstoff es sei, welchem man die Reizung zuzuschreiben habe. Doch dagegen ist geltend zu machen, was durch die Arbeiten von Lothar Meyer u. A. als bewiesen angesehen werden kann, dass der Sauerstoff im Blute keineswegs blos diffundirt, sondern, wenn auch nur locker, chemisch gebunden sei, dass es daher gar keine Schwierigkeit hat, sich zu denken, dass jener Blutbestandtheil, welcher im normalen Blute an Sauerstoff gebunden ist, bei seinem Freiwerden die Eigenschaft eines Reizes erhalte. Diese Annahme ist jedenfalls zulässiger, als die durch keine Analogie gestützte, dass Stickstoff und Wasserstoff Reize seien. Die Kohlensäure freilich steht allgemein in dem Ruf, ein Reiz zu sein, doch ist mir kein einziges Factum bekannt, das diesen Ruf rechtfertigte. Scanzoni's Empfehlung derselben zur Erregung der künstlichen Frühgeburt wird man schwerlich als Stütze anführen wollen, da sie selbst von jenem Rufe als einem wohlbegründeten ausgeht und da die Erfolge dieser Methode, soviel mir wenigstens bekannt ist, nicht gerade so sicher festgestellt sind, um auf sie weitere Annahmen zu bauen. Noch ein

Grund für die erregende Eigenschaft der Kohlensäure könnte aus der Angabe H. Davy's hergeleitet werden, dass auch beim Athmen von reinem Sauerstoff die Anzahl und Tiefe der Athemzüge wachse. Hier könnte doch der Sauerstoffgehalt des Blutes nicht abgenommen haben, wohl aber müsste der Kohlensäuregehalt gestiegen sein durch den erhöhten Stoffwechsel und die dadurch vermehrte Kohlensäureerzeugung. In der That aber lässt diese Angabe Davy's, deren Richtigkeit übrigens nach den Versuchen von Regnault und Reiset und Wilhelm Müller bezweifelt werden kann, eine Deutung zu, welche mit unserer Deutung der dyspnoëtischen Erscheinungen durchaus nicht in Widerspruch ist. Nach den Untersuchungen Lothar Meyer's müssen wir annehmen, dass im reinen Sauerstoff nicht wesentlich mehr von diesem Gase in das Blut aufgenommen wird, als in atmosphärischer Luft; ebenso muss die gebildete Kohlensäure in beiden Fällen wol gleich gut entfernt werden, da die An- oder Abwesenheit des Stickstoffs darauf keinen Einfluss haben kann. Es wird also der Gasgehalt des Blutes nicht sehr wesentlich verschieden sein können, ein Thier mag in reinem Sauerstoff athmen, oder in atmosphärischer Luft. Wenn nun aber in reinem Sauerstoff der Stoffwechsel energischer vor sich gehen sollte, so könnte dies seinen Grund haben in einer innigeren Bindung desselben, welche ihn für weitere Verwendung zur Oxydation der Gewebe tauglicher machte; aus dieser erklärte sich dann auch die erhöhte Energie sämmtlicher Apparate des Körpers, an welcher natürlich auch die der Athembewegung theilnehmen. Der Sauerstoff spielt also nach unserer Auffassung in dem Mechanismus der Athembewegungen eine doppelte Rolle. Einerseits wirkt eine Abnahme desselben als Reiz, andererseits hängt von seiner Anwesenheit der Grad der Leistungsfähigkeit und Erregbarkeit der betreffenden Apparate ab. Da nun die Grösse der schliesslichen Leistung immer ein Product der beiden Factoren, des Reizes und der Reizbarkeit, ist, so folgt daraus, dass unter Umständen wol eine vermehrte Leistung des

Respirationsapparates die Folge vermehrter Sauerstoffzufuhr sein kann. Wir sehen an diesem Beispiel, wie nur eine sorgfältige Beachtung dieser beiden Factoren eine richtige Einsicht in den Mechanismus gestattet, durch welchen die Regulirung der Athembewegungen zu Stande kommt.

Kehren wir nun nach dieser Abschweifung zu der Frage zurück, auf welchem Wege der verminderte Sauerstoffgehalt des Blutes zu einer vermehrten Thätigkeit des respiratorischen Centralapparates führt, so fühlen wir bald, dass eine zufriedenstellende Antwort auf diese Frage nicht gegeben werden kann, ohne dass wir vorher eine Vorstellung uns gebildet haben, über die Ursache, welche jenes Centralorgan überhaupt zu seiner fortwährenden rhythmischen Thätigkeit anregt. Wir berühren hier eine der heikelsten Fragen der Physiologie, welche in befriedigender Weise zu beantworten bisher noch Niemandem gelungen ist und auch wol sobald nicht gelingen wird. Wenn ich trotz dieser Ueberzeugung auf jene Frage eingehe, so geschieht dies nur in der Absicht, uns eine möglichst brauchbare Vorstellung zu bilden, von welcher die folgenden Untersuchungen ausgehen können, damit nicht die Detailuntersuchung in Ermangelung jeglichen theoretischen Rückhaltes in einem undurchdringlichen Dunkel umhertappe. Eine solche Vorstellung wird wesentlich zur Feststellung der Gesichtspunkte, von welchen die Untersuchung auszugehen hat, und zur Fixirung der Begriffe dienen. Die grössere oder geringere Uebereinstimmung der so gezogenen Consequenzen, mit den Ergebnissen der Erfahrung wird dann lehren, wie weit unsere Vorstellung sich der Wahrheit annähert.

Die neuere Physiologie bezeichnet die Athembewegungen als „automatische.“ Joh. Müller[1]) bezeichnet diese als solche, „welche von Seelenactionen unabhängig, entweder anhaltend sind, oder in einem regelmässigen Rhythmus erfolgen, und

[1]) Handbuch der Physiologie II. 66.

welche beide aus gesunden, natürlichen, in den Nerven oder Centralorganen liegenden Ursachen erfolgen.“ Die Athembewegungen definirt er dann als „automatische Bewegungen des animalen Systems mit intermittirendem Typus.“ LUDWIG[1]) sagt: „Vom Hirn aus werden ohne Zuthun des Willens und ohne dass auch eine reflectorische Ursache vorläge, eine Reihe von Bewegungen erregt; wir sind daher gezwungen, noch einige besondere Erregung erzeugende Umstände in ihm anzunehmen, die wir in Ermangelung schärferer Bezeichnung mit dem obigen Namen (Selbsterregung, Automatie) belegen.“ Als characteristisch für diese Art von Bewegungen wird dann noch angegeben, dass sie rhythmisch erfolgen, und unter den Beispielen werden die Athembewegungen genannt. Der Unterschied in den Anschauungen MÜLLER's und LUDWIG's scheint also, wenn wir davon absehen, dass MÜLLER neben den rhythmischen auch anhaltende (tonische) automatische Bewegungen annimmt, hauptsächlich darin zu bestehen, dass LUDWIG einen unbekannten Reiz voraussetzt, während MÜLLER die Eigenschaft, stets thätig zu sein, als eine jenen Nervengebilden an sich innewohnende ansieht. Dass jedoch MÜLLER die Sache nicht so auffasste, wie es nach seiner Definition allerdings den Anschein haben muss, geht aus dem Umstande hervor, dass er wenige Seiten nachher die Frage aufwirft und zu beantworten sucht, welches denn der Reiz sei, der das Centralorgan der Athembewegungen zu seiner dauernden Thätigkeit anregt. Und in der That, der Umstand, dass es einen Zustand giebt, in welchem gar keine Athembewegungen gemacht werden, ich meine den Zustand des Foetus im Uterus, ist genügend, zu beweisen, dass die fortwährende Thätigkeit an sich keine Eigenschaft jenes Centralorgans sei, sondern dass es zur Einleitung seiner Thätigkeit noch eines besonderen Umstandes, eines Reizes, bedarf. Denn es scheint undenkbar, dass die Beschaffenheit des Apparates im Foetus eine so wesentlich

[1]) Lehrbuch der Physiologie. 2. Aufl. I. 211.

andere sei, als im eben geborenen Kinde, und dass eine so wesentliche Veränderung der Grundeigenschaften des Apparates während der Geburt vor sich gehen könnte. Bleibt aber der Apparat derselbe, so muss, um ihn in Gang zu setzen, ein Reiz hinzugekommen sein, dessen Fehlen im foetalen Leben eben die Unthätigkeit des Apparates bewirkte. Die Frage nach der Ursache der fortwährenden rhythmischen Athembewegungen fällt daher zusammen mit der Frage nach der Ursache der ersten Athembewegung des geborenen Kindes.

Diesen Zusammenhang hat auch MÜLLER sehr gut eingesehen, und er beantwortet beide Fragen gleichzeitig dahin, dass der Sauerstoff des Blutes den Reiz für die Medulla oblongata abgebe. Diese Ansicht empfiehlt sich gewiss sehr durch ihre Einfachheit: Der Thorax des Kindes dehnt sich, sowie er die Geburtswege verlässt und dadurch der bisher auf ihn ausgeübte Druck aufhört, aus; es dringt Luft in die bisher atelectatischen Lungen, das dieselben durchströmende Blut gelangt mit aufgenommenem Sauerstoff zur Medulla oblongata und bewirkt den ersten Athemzug, und indem dieser dem Blute wieder Sauerstoff zuführt, dauert die Reizung fort und es muss stets geathmet werden. Zu erklären bliebe nur noch, warum die Athmung rhythmisch geschieht, da doch die Reizung bei den bekannten Verhältnissen des Kreislaufs continuirlich sein müsste. Hier bleibt MÜLLER die Antwort schuldig und muss sich mit der Annahme einer dem nervösen Centralorgan eigenthümlichen Einrichtung zufrieden geben.

Aber diese Theorie ist mit den Thatsachen nicht im Einklange. Zunächst entsteht die Frage, ob das Blut des Foetus denn gar keinen Sauerstoff enthalte oder wenigstens nicht genug, um den nöthigen Reiz zur Anregung der Athembewegungen abzugeben. Eine solche Annahme könnte, da wir noch keine Gasanalyse foetalen Blutes besitzen und bei der Schwierigkeit des Gegenstandes auch wol noch lange werden entbehren müssen, in Anbetracht der dunkeln Färbung des foetalen Blutes

gerechtfertigt erscheinen. Doch ist in dieser Beziehung nicht ausser Acht zu lassen, dass wir eigentlich niemals Gelegenheit haben, normales Foetalblut zu sehen; denn das eben geborene Kind befindet sich, wie wir bald sehen werden, bevor es geathmet hat, stets in dyspnoëtischem Zustande. Aber gesetzt auch, es wäre bewiesen, dass im foetalen Blute weniger Sauerstoff enthalten sei, als nach der MÜLLER'schen Annahme zu einer wirksamen Reizung der Medulla oblongata nöthig wäre, so liesse sich jene Annahme doch nicht halten, der unzweifelhaften Thatsache gegenüber, dass Athembewegungen vorkommen bei Foeten, welche noch gar nicht mit der Atmosphäre in Berührung gekommen sind, sowohl innerhalb als ausserhalb des Uterus (z. B. bei Geburten innerhalb der unverletzten Eihüllen). Solche Beobachtungen sind von verschiedenen Seiten gemacht worden, und einige davon halten selbst der strengsten Kritik Stich. Man findet eine Zusammenstellung derselben und eine gute Auseinandersetzung der hier einschlagenden Fragen in dem trefflichen Buche von SCHWARTZ: Die vorzeitigen Athembewegungen. Ein Beitrag zur Lehre von den Einwirkungen des Geburtsactes auf die Frucht. Leipzig 1858. Der Verfasser sucht hier den Satz zu begründen, dass in Folge des Geburtsactes stets eine Unterbrechung des Placentarkreislaufs und dadurch ein dyspnoëtischer (oder wie er sich ausdrückt, asphyctischer) Zustand des Kindes eintrete, und dass in Folge dessen die Athmung in Gang komme. Ich kann diesem Satze nur beistimmen und verweise daher diejenigen, welche eine weitere Ausführung desselben wünschen, auf das Buch von SCHWARTZ. In der That ist der Luftzutritt zu den Lungen so wenig nothwendig zum Zustandekommen der Athembewegungen, dass diese vielmehr regelmässig auch schon im Uterus eintreten, wenn durch Compression der Nabelschnur, Ablösung der Placenta, Tod der Mutter u. dgl. mehr eine Unterbrechung des Placentarkreislaufs und damit jener dyspnoëtische Zustand herbeigeführt wird, welchen wir als Ursache der Reizung für die Medulla oblongata ansehen. Es bleibt nun nur noch

die Frage zu beantworten, worin jener Zustand bestehe, oder genauer ausgedrückt, welcher Blutbestandtheil es sei, dessen mangelhafte Erneuerung den Reiz abgiebt. Schon die Analogie mit den dyspnoëtischen Zuständen des Erwachsenen lässt uns zunächst an den Sauerstoff denken. Dass das foetale Blut überhaupt Sauerstoff enthalte, lässt sich wol nicht bezweifeln. Seine Anwesenheit scheint unbedingt nothwendig zu sein, da im foetalen Organismus Vorgänge Platz greifen, welche wenigstens im Erwachsenen an die Anwesenheit sauerstoffhaltigen Blutes unbedingt gebunden sind, z. B. Muskelbewegungen.[1]) Ist aber Sauerstoff vorhanden und wird er durch den Stoffwechsel verbraucht, woran nicht zu zweifeln ist, so muss auch ein regelmässiger Ersatz stattfinden und dies kann nirgends anders geschehen, als in der Placenta. Hier kommt das foetale Blut in die innigste Berührung mit dem mütterlichen, dessen Sauerstoffgehalt durch die Athmung der Mutter stets auf einer nahezu constanten Höhe erhalten wird. Sinkt der Sauerstoffgehalt des Foetalblutes unter dieses Maass, so wird eine Ausgleichung stattfinden müssen, ein Uebergang von Sauerstoff aus dem Blute der Mutter in das Blut des Foetus, und umgekehrt ein Uebergang von Kohlensäure aus dem Blute des Foetus in das Blut der Mutter, falls diese im letzteren in geringerer Menge vorhanden ist, als im ersteren. Da nun, wie gesagt, das Blut der mütterlichen Placenta stets nahezu constant in seinem Gasgehalt bleibt, da aber im Foetus durch den Stoffwechsel fortwährend Sauerstoff verbraucht und Kohlensäure erzeugt wird, so muss eine solche Ungleichheit nothwendig eintreten und damit auch die Ausgleichung, eine wahre Placentarrespiration, welche diesen Namen gewiss mit demselben Rechte verdient, wie die Respiration in den Kiemen der Fische, welche ja auf ganz ähnliche Weise zu Stande kommt. Wie ergiebig dieser Gaswechsel in der Placenta ist, ob er ausreicht,

[1]) Auch die Production von Wärme durch den Foetus, welche ohne Sauerstoff ganz undenkbar wäre, ist, wenngleich nicht streng erwiesen, doch sehr wahrscheinlich gemacht. Vgl. v. Bärensprung, Müll. Arch. 1851. 126.

den Sauerstoffgehalt des Foetalblutes auf derselben Höhe zu erhalten, als die Lungenathmung nach der Geburt, lässt sich schwer entscheiden. Soviel aber kann mit Bestimmtheit gesagt werden, dass er ausreichen muss, das Athembedürfniss des Foetus zu decken, dies mag nun grösser oder geringer sein, als das des Erwachsenen.[1]) Tritt nun durch irgend einen Umstand eine Unterbrechung der Placentarcirculation ein, so ist damit auch die Placentarrespiration unterbrochen. Die Folge davon ist eine Verarmung des Foetalblutes an Sauerstoff, die Medulla oblongata wird gereizt, und die Athmung beginnt. Tritt dies erst nach der Geburt ein, so wird dem Blute jetzt durch die Lungen Sauerstoff zugeführt, und das Leben bleibt erhalten. Beginnen aber die Athembewegungen schon in den Eihäuten, so dringt Amnionsflüssigkeit in die Luftwege, und der Tod der Frucht ist die Folge, wenn nicht bei Zeiten Hülfe geschafft wird. Wie nun SCHWARTZ sehr richtig ausführt, muss eine solche Unterbrechung des Placentarkreislaufs regelmässig bei jeder Geburt eintreten, indem bei der Verkleinerung des Uterus die Placentarcapillaren verengert werden, jedenfalls aber doch nach Lösung der Placenta. Der Eintritt der Athembewegungen ist also eine nothwendige Folge der Geburt, wenn nicht unterdess die Erregbarkeit des Athemcentrums zu sehr gelitten hat.

Kommen wir so zu dem Schluss, dass Verarmung des Blutes an Sauerstoff die Ursache des ersten Athemzuges sei, und haben wir oben gesehen, dass Verarmung des Blutes an Sauerstoff

---

[1]) Es ist wol nicht zu läugnen, dass der Stoffumsatz im Foetus sehr gering sei, und somit auch das Athembedürfniss. Für die Erklärung des letzteren ist vielleicht die Analogie mit dem geringen Athembedürfniss der Thiere von Wichtigkeit, deren Hautthätigkeit durch Firnissen unterdrückt ist, da sich der im Schaafwasser schwimmende Foetus in ganz ähnlichen Verhältnissen befindet. So sah ich z. B. bei einem Kaninchen, dessen Temperatur 1½ Stunden nach dem Firnissen auf 26°C. gesunken war, das Herz nach Oeffnung des Thorax ohne alle Respiration fast eine Stunde lang in unverändertem Tempo kräftig fortpulsiren.

beim Geborenen das nervöse Centralorgan der Athembewegungen zu erhöhter Thätigkeit anregt, so liegt der Schluss nahe, dass auch das normale Athmen des Geborenen durch dieselbe Ursache unterhalten wird, nämlich durch den fortwährenden Verbrauch von Sauerstoff, in Folge dessen der Sauerstoffgehalt des Blutes niemals eine gewisse Grenze übersteigen kann. Ursache und Wirkung reguliren sich hier gegenseitig, um eine Constanz der Wirkung zu erzielen, gerade wie der Regulator einer Dampfmaschine die Grösse und Geschwindigkeit ihrer Bewegung innerhalb enger Grenzen hält. Der Sauerstoffmangel erregt die Athembewegung, und da durch diese dem Sauerstoffmangel abgeholfen wird, so würde der Grund zu weiteren Athembewegungen fortfallen, wenn nicht durch den fortwährenden Verbrauch bald wieder Sauerstoffmangel entstände. Wird durch die Athmung mehr Sauerstoff zugeführt, als verbraucht wird, so wird die Reizung schwächer, und die Athembewegungen müssen abnehmen; wird mehr verbraucht, als zugeführt wird, so wächst die Reizung und die Bewegungen müssen stärker werden. In diese Wechselwirkung kann daher auch der Wille nur vorübergehend auf kurze Zeit ändernd eingreifen. Zwar können wir willkürlich die Athembewegungen ganz einstellen; aber durch den stetig wachsenden Sauerstoffmangel wird dann der auf das respiratorische Centrum ausgeübte Reiz so stark, dass er unseren Willen durchbricht, und die Athmung wieder in Gang bringt. Aber selbst die Zahl und Tiefe der Athembewegungen können wir willkürlich nicht auf längere Zeiten ändern; denn entweder werden wir dadurch den Sauerstoffgehalt des Blutes erhöhen, oder vermindern; im ersteren Falle würde die normale Reizung abnehmen, und wir müssten sie durch den Willen ersetzen, was bald zur Ermüdung führen würde. Im anderen Falle würde der Reiz wachsen und daher bald gegen unsern Willen eine stärkere Athmung Platz greifen. So lange also Sauerstoffverbrauch und Sauerstoffersatz nahezu constant bleiben, müssen auch die Athembewegungen ungeändert in einem mittle-

ren Zustand verharren. Wird aber einer dieser Factoren vergrössert, so muss auch die Reizung des Centralorgans und damit seine Leistung wachsen, so lange seine Erregbarkeit und Leistungsfähigkeit ungeändert bleiben.

Dieser letzte oben schon angedeutete Factor darf nicht unberücksichtigt bleiben, wo es sich um die richtige Beurtheilung der dyspnoëtischen Erscheinungen handelt. Wird der Sauerstoffgehalt des Blutes geringer, so wächst die Reizung der Medulla oblongata, und ihre Thätigkeit wird gesteigert. Aber diese Steigerung wird eine anhaltende nur sein können, wenn eben durch die gesteigerte Thätigkeit dem Blute gerade genug Sauerstoff zugeführt werden kann. Ist dies nicht möglich, nimmt der Sauerstoffgehalt des Blutes trotz der vermehrten Athembewegungen immer mehr ab, so wächst zwar die Reizung, es verringert sich aber die Reizbarkeit und Leistungsfähigkeit des respiratorischen Centralorgans und der Athemmuskeln. Die anfänglich gesteigerte Athembewegung wird daher wieder schwächer und seltener werden und zuletzt ganz aufhören.[1]) Diesen Vorgang bezeichnen wir mit dem Namen der Erstickung. Er tritt unter anderen ein, wenn wir Thiere im abgeschlossenen Raume oder in indifferenten Gasarten athmen lassen. Der Versuch von Joh. Müller,[2]) welcher Frösche in Wasserstoffgas brachte, in welchem sie scheintodt wurden, um nachher in atmosphärischer Luft wieder aufzuleben, gehört hierher. Weit entfernt, das zu beweisen, was Müller durch ihn beweisen wollte, nämlich dass der Sauerstoffgehalt des Blutes „die fortdauernde Ursache der Athembewegungen während des ganzen Lebens ist," zeigt er nur, dass ein gewisser Sauerstoffgehalt des Blutes Bedingung für die Thätigkeit der Medulla oblongata und der Athemmuskeln sei, und dass Frösche mittelst der Haut eine genügende Menge Sauerstoff aus der Atmosphäre aufnehmen

[1]) Vergl. in dieser Beziehung besonders W. Müller's Beiträge zur Theorie der Respiration. (Wien. akad. Ber. XXXIII. 99.) Lieb. Ann. CVIII. 257.

[2]) Handbuch der Physiologie II. 76.

können, um bei noch bestehendem Kreislaufe jene Apparate wieder leistungsfähig zu machen. Bei Säugethieren ist dies nicht der Fall. Diese kommen daher, wenn durch Athmen in sauerstoffarmer Luft Erstickung eingetreten ist, an der Atmosphäre nur dann wieder ins Leben zurück, wenn die Athembewegungen noch nicht ganz erloschen sind, oder bei Einleitung künstlicher Respiration, so lange nur noch das Herz schlägt, um den in den Lungen wieder zugeführten Sauerstoff nach der Medulla oblongata bringen zu können.

Diese Betrachtungen zeigen, was die Medulla oblongata zu ihrer Thätigkeit veranlasst und wie der Grad ihrer Thätigkeit von dem Grade der Reizung abhängt. Die Grösse der Thätigkeit werden wir zu beurtheilen haben einerseits nach der Zahl der in der Zeiteinheit geschehenden Athemzüge, andererseits nach der Tiefe jedes einzelnen. Für gewöhnlich ändern sich allerdings beide in gleichem Sinne, und besonders ist dies in den von uns bisher betrachteten dyspnoëtischen Zuständen fast ausnahmlos der Fall. Es kommt aber auch das Entgegengesetzte vor, d. h. Abnahme der Respirationsfrequenz mit zunehmender Tiefe der Athemzüge und Zunahme der Frequenz mit Abnahme der Tiefe. Die Erklärung dieser Erscheinungen ist um so schwieriger, als wir uns noch überhaupt keine Vorstellung gemacht haben von der Ursache, warum die Athembewegungen überhaupt rhythmisch erfolgen. In der That ist dieser Punkt der schwierigste in der ganzen Untersuchung. Lassen wir ihn vorläufig unerörtert (und wir können in der That noch keine befriedigende Antwort auf diese Frage geben) und wenden wir uns zu dem eigentlichen Ziel unserer jetzigen Untersuchung, auf welchem Wege die Reizung der Medulla oblongata durch das in seinem Gasgehalt schwankende Blut zu Stande kommt.

Eine direkte Einwirkung des Blutes auf die Ganglien des noeud vital ist die einfachste Annahme, welche wir machen können, und diese Annahme begegnet auch keinen erheblichen

Schwierigkeiten. Beispiele von Erregung nervöser Centralorgane durch Bestandtheile des in ihnen circulirenden Blutes bietet die Physiologie auch sonst noch in unzweifelhafter Weise dar. Zwar die Narcotica können hier nicht angezogen werden, da sie nicht eigentlich erregend wirken, sondern nur die Reflexerregbarkeit erhöhen. Aber die Erregung des Centralorganes des Vagus durch die Digitalis gehört unzweifelhaft hierher. Noch näher liegt die heftige Erregung der motorischen Centralapparate durch Beschränkung der arteriellen Blutzufuhr in den fallsuchtartigen Zuckungen, wie sie KUSSMAUL und TENNER durch directe Versuche nachgewiesen haben; endlich die bei Erstikkung auftretenden Krämpfe, welche mit jenen bei Verblutung eine sehr ähnliche, wenn nicht eine und dieselbe Ursache haben. Namentlich die letzteren scheinen Nichts als ein höherer Grad der Erregung durch das in seinem Sauerstoffgehalt verminderte Blut zu sein, so dass also das Centralorgan der Athembewegungen sich nur durch eine grössere Empfänglichkeit gegen jenen Reiz vor dem übrigen motorischen Centralapparat auszeichnen würde.

Zeigen diese Betrachtungen nur, dass eine solche directe Wirkung des Blutes auf die Medulla oblongata möglich und denkbar sei, so wird die Annahme, dass die Wirkung wirklich auf diesem Wege erfolge, wesentlich gestützt durch den Nachweis, dass der andere mögliche Weg der Einwirkung, die reflectorische Erregung durch centripetalleitende Nerven abgeschnitten werden kann, ohne dass die Athmung aufhört. Zwar die gewaltigen Wirkungen, welche das peripherische Nervensystem auf das Centralorgan der Athembewegungen auszuüben vermag, können in keiner Weise geleugnet werden. Hautreize vermögen den Rhythmus der Athembewegungen zu ändern; so z. B. bewirkt eine plötzliche Abkühlung der Haut besonders an Brust und Bauch regelmässig eine plötzliche tiefe Inspiration; Husten und Niesen sind durch Reizung sensibler Nerven vermittelte Eindrücke auf das Respirationscentrum und dadurch

bewirkte Aenderungen seiner normalen Erregungsverhältnisse; auch beweist der Umstand, dass die Athemmuskeln bei Strychninvergiftung von den Krämpfen ebenfalls ergriffen werden, dass ihr Centrum mit sensiblen Nerven in reflectorischer Verknüpfung stehen muss, endlich wirkt Reizung der Haut anregend auf die Einleitung der Athembewegungen bei asphyctisch Geborenen, und fast alle zur Belebung derselben in Anwendung kommenden Mittel wirken eben nur durch Reizung der Haut. Diese und ähnliche Erscheinungen sprechen zu Gunsten der Annahme, dass der oben nachgewiesene Einfluss des Blutes auf die Medulla oblongata nicht unmittelbar ausgeübt wird, sondern durch die Erregung centripetalleitender Nerven an ihrer Peripherie. Eine solche Deutung ist in der That von Volkmann[1]) versucht worden, welchem sich auch Vierordt[2]) angeschlossen hat. Nach dieser Ansicht sollen die Athembewegungen angeregt werden durch das „Athembedürfniss sämmtlicher Organe des Körpers." Indem nämlich in diesen Sauerstoff verbraucht und Kohlensäure gebildet wird, soll eine Reizung der in ihnen enthaltenen sensiblen Nerven entstehen, welche zur Medulla oblongata fortgeleitet, diese zu ihrer Thätigkeit anregt. In dieser Allgemeinheit ist der Satz aber auf jeden Fall unrichtig. Denn wir sehen ja, dass die von Gehirn und Rückenmark vollständig getrennte Medulla oblongata, zu welcher also, wenn gleichzeitig auch die Nervi vagi durchschnitten sind, peripherische Reize kaum noch gelangen können, ihre Thätigkeit nichtsdestoweniger fortsetzt; eine Erfahrung, welche seit Legallois vielfach gemacht worden ist und welche eben uns gelehrt hat, dass der Sitz des respiratorischen Centralorganes in der Medulla oblongata zu suchen sei. Dieser Thatsache gegenüber scheint es mir unzweifelhaft geboten, anzunehmen, dass die Einwirkung des Blutes auf die Medulla oblongata eine unmittelbare sei. Es fragt sich

[1]) Müll. Arch. 1841. 342.

[2]) Wagner's Handwörterbuch II. 912.

aber, ob neben dieser Einwirkung im normalen Zustande noch eine andere von sensiblen Nerven ausgeübt werde und ob diese ebenfalls von dem Gasgehalt des Blutes abhänge.

Diese Fragen zu entscheiden, dürften aber unsere bisherigen Kenntnisse noch zu lückenhaft sein. Zwei Grundversuche sind es vornehmlich, an welche die Entscheidung dieser Frage sich anlehnen müsste, nämlich die Durchschneidung des Rückenmarkes und das Firnissen der Haut. In beiden Fällen sehen wir eine bedeutende Abnahme der Respirationsthätigkeit eintreten zugleich mit einer enormen Herabsetzung der Bluttemperatur. Da nun bei der Rückenmarksdurchschneidung die Einwirkung einer grossen Zahl sensibler Nerven auf die Medulla oblongata unmöglich gemacht wird und da beim Firnissen der Haut die secretorische Thätigkeit derselben unterdrückt und so möglicher Weise ein auf ihre Nerven ausgeübter Reiz unmöglich gemacht wird, so könnte die Deutung versucht werden, jene Abnahme der Athmungsthätigkeit als den Ausdruck einer fortfallenden im normalen Zustande stets ausgeübten Reizung durch sensible Nerven aufzufassen. Aber jene beiden Versuche sind nicht eindeutig genug, um solchen Schluss zu gestatten. Namentlich ist nicht zu übersehen, dass die Veränderung der Athmung nach jenen Eingriffen nur ganz allmählich sich ausbildet, was schon auf die Mitwirkung besonderer Nebenumstände schliessen lässt. Und in der That die Durchschneidung des Rückenmarks hebt nicht nur die Leitung sensibler Nerven auf, sondern lähmt auch die gesammte Musculatur, welche ihre Nerven aus dem unterhalb des Schnittes gelegenen Theil des Rükkenmarkes bezieht; sie vernichtet somit eine der ergiebigsten Quellen des Sauerstoffverbrauches und schon dadurch allein muss die Erregung der Medulla oblongata sich verringern, und Zahl und Stärke der Athembewegungen müssen abnehmen. Die Firnissung der Haut, indem sie die Perspiration und damit eine Quelle der Gaserneuerung im Blute abschneidet, müsste scheinbar gerade den entgegengesetzten Erfolg haben, als die

Erfahrung lehrt, nämlich Steigerung der Athemthätigkeit. In der That scheint eine solche auch unmittelbar nach dem Firnissen einzutreten. Um so schwieriger wird die Erklärung des nachherigen beträchtlichen Sinkens. Man kann an die Zurückhaltung irgend eines schädlichen Stoffes denken, welcher im normalen Zustande durch die Haut ausgeschieden wird, doch bleibt dies so lange eine ziemlich vage Hypothese, als wir den fraglichen Stoff nicht näher zu bezeichnen vermögen. Diesem Stoffe müssten wir dann die Eigenschaft zuschreiben, die Erregbarkeit der Medulla oblongata herabzusetzen. Unter dieser Voraussetzung erklären sich dann die übrigen Erscheinungen der Hautfirnissung ziemlich einfach. Die Erregbarkeitsabnahme der Medulla oblongata hat trotz der Verminderung des Sauerstoffes eine Abnahme der Athmungsintensität zur Folge; da in Folge dessen der Sauerstoff noch mehr sinkt, und folglich auch die Erregbarkeit der Medulla oblongata, so wird die Athmung natürlich immer schwächer und schwächer. Die dadurch bewirkte Abnahme des Stoffwechsels bedingt das fortwährende Sinken der Temperatur und der Leistungsfähigkeit des ganzen Organismus, welche sich als Lähmung sämmtlicher Muskeln kundgiebt. Aber diese allmähliche Abnahme der respiratorischen Thätigkeit giebt dem Thiere auch jene merkwürdige Resistenz gegen Sauerstoffmangel, die wir sonst nur an kaltblütigen Thieren kennen, und auf welche meines Wissens zuerst Claude Bernard die Aufmerksamkeit gelenkt hat. Wir sehen diese Verringerung des Athembedürfnisses, diese Gewöhnung an den Sauerstoffmangel in allen Fällen eintreten, wo die Sauerstoffabnahme allmählich eintritt. So z. B. beim Anstechen der einen Pleurahöhle. Wird auf diese Weise die Respirationsfläche plötzlich um die Hälfte verkleinert, so entsteht eine heftige Dyspnoe, die Athemzüge werden häufiger und tiefer, accessorische Athemmuskeln treten ins Spiel. Aber allmählich ermüden die Athemwerkzeuge unter der ihnen auferlegten Arbeit, die Athmung wird schwächer, die Erregbarkeit der Medulla oblongata sinkt, der Sauerstoffgehalt

des Blutes vermindert sich immer mehr und mehr und mit ihm die Energie aller Lebensfunctionen. Es ist dies ganz dieselbe Reihe von Erscheinungen, welche wir schon oben als Erstickung aus einer anderen, im Grunde aber ganz gleichen Ursache, der mangelhaften Luftzufuhr, kennen gelernt haben. Oeffnet man dann einem solchen Thier auch die andere Pleurahöhle und schneidet so den Gasaustausch ganz ab, so wundert man sich über die geringfügigen Reactionserscheinungen, über das späte Eintreten der die Erstickung begleitenden Convulsionen, über das lange Fortpulsiren des Herzens.

Ganz ähnliche Erscheinungen zeigen Thiere, welche längere Zeit mit durchschnittenen Vagis gelebt haben, wovon im sechsten Capitel noch mehr die Rede sein soll. Auch die lange Erhaltung des Lebens bei chronischen Lungenkrankheiten scheint mir hierherzugehören, wo wir ja oft ganz enorme Beschränkungen der Respirationsfläche finden, die wenn sie plötzlich einträten, unfehlbar den Tod nach sich ziehen müssten. Bei der Firnissung der Haut treten nun all diese Erscheinungen allerdings in viel ausgesprochnerem Grade auf, wovon wir oben schon gelegentlich ein Beispiel anführten, und dieser höhere Grad beruht gewiss auf dem so ganz allmählichen und ohne Störung verlaufenden Abnehmen der Athmung. Damit in Zusammenhang steht das enorme Sinken der Blutwärme und die belebende Wirkung von aussen zugeführter Wärme.[1])

Wir sehen also, dass eine stetige Einwirkung centripetalleitender Nerven auf das respiratorische Nervencentrum zum Zustandekommen der Athembewegungen nicht nothwendig ist, und wir müssen daher bei der Annahme einer unmittelbaren Erregung jenes Organes durch das Blut stehen bleiben. Einer detaillirten Untersuchung bleibt es vorbehalten, zu erforschen, welchen Einfluss diese Nerven unter verschiedenen Verhältnissen ausüben, um entweder die unmittelbare Wirkung des Blutes zu

[1]) Valentin, Arch. für physiolog. Heilk. 1858. 433 ff.

verstärken oder sonstwie zu ändern. In dieser Beziehung nimmt der N. Vagus vor allen anderen unser Interesse in Anspruch. Die beträchtliche Zahl von Fasern, welche er an das Organ der Athmung, die Lungen, abgiebt, lässt schon vermuthen, dass er zu dieser in einer hervorragenden Beziehung steht, und die Erfahrung hat längst diese Vermuthung bestätigt. Die Erfolge seiner Durchschneidung, durch welche der Modus der Athmung wesentlich verändert wird, lehren, dass sein Einfluss ein stetig wirkender sei; die Erfolge seiner Reizung zeigen, welcher eingreifenden Wirkungen er fähig ist, und versprechen, ein Licht auf die Art dieser Wirkungen zu werfen. Da nun aber gerade über diesen letzteren Punkt die widersprechendsten Angaben gemacht worden sind, so schien es mir von Wichtigkeit, zunächst diesen Gegenstand einer eingehenden kritischen und experimentellen Prüfung zu unterwerfen. Die Ergebnisse dieser Prüfung sind in den folgenden Blättern enthalten. Wenn sie dazu beitragen, auch nur ein Geringes vorwärts zu kommen in der Erkenntniss des wunderbaren Mechanismus, welcher die Athembewegungen unterhält und regelt, so ist damit immerhin schon Etwas gewonnen.

ZWEITES CAPITEL.

Geschichte.

Die bedeutende Rolle, welche der Vagus bei der Athmung spielt, ist schon seit langer Zeit bekannt, und eine grosse Zahl von Forschern hat sich mit Untersuchung derselben beschäftigt. Die Ergebnisse ihrer Forschungen lassen einen dreifachen Einfluss dieses Nerven erkennen:

1. auf die Form und Häufigkeit der Athembewegungen,
2. auf den Chemismus der Athmung,
3. auf die materielle Structur der Athmungsorgane.

Obgleich die beiden letzten Puncte zum Theil gewiss nur Folgen des ersten sind, so will ich doch an diesem Orte mich nicht weiter mit ihnen beschäftigen und beschränke mich allein auf die Betrachtung des ersten.

Es würde zu weit führen, wollte ich hier alle Forscher aufzählen, welche die Veränderungen der Athembewegungen nach Durchschneidung eines oder beider Vagi zum Gegenstand ihrer Erörterungen gemacht haben. Das Nöthige davon wird an den einzelnen Puncten der Untersuchung nachgetragen werden. Hier sollen nur die Arbeiten zusammengestellt werden, in welchen die Reizung des Vagus und besonders des centralen

Vagusendes Gegenstand der Untersuchung ist, da die neuere Zeit gelehrt hat, dass jener Einfluss des Vagus allein oder doch vorzugsweise ein reflectorisch wirkender ist.

Marshall Hall war der Erste, welcher diese Beziehung ahnte. Er stellte die Ansicht auf, das Athmen werde durch die fortwährende Erregung der Vagi in den beiden Lungen unterhalten. Nach Durchschneidung beider Vagi aber dauere das Athmen als ein willkürlicher Act durch Vermittelung des Grosshirns fort. Er glaubt daher, dass wenn gleichzeitig das Grosshirn entfernt und die Vagi durchschnitten würden, jede Athmung aufhöre.[1])

Die Unrichtigkeit dieser Ansicht haben Flourens und Longet durch Versuche dargethan,[2]) welche seitdem vielfach bestätigt wurden. Es kann heut zu Tage keinem Zweifel mehr unterliegen, dass die Erregung der Athembewegungen durch ein sogenanntes „automatisches Centrum" bewirkt wird, dessen Sitz Flourens in einer ganz umschriebenen Stelle des calamus scriptorius nachgewiesen hat, und wir haben im vorigen Capitel versucht, uns klar zu machen, wodurch die dauernde Erregung dieses Centrum zu Stande kommt. Andererseits aber ist nicht zu leugnen, dass die Vagi einen beträchtlichen Einfluss auf dieses Centrum haben. Dies hat schon Marshall Hall gesehen, als er fand, dass Reizung eines Vagus am Halse mit einer Pincette constant eine Einathmung zur Folge hat,[3]) und Longet hat durchaus Unrecht, wenn er von diesem Versuch verächtlich sagt, dass man ganz denselben Erfolg sehe, wenn man ein Thier in den Schwanz kneipe. Denn in diesem Falle sieht man durchaus nicht constant eine Einathmung erfolgen, was doch bei

[1]) Ann. des sciences naturelles. 1837. (2) VII. Partie zoologique. 361f. 363f.

[2]) Longet, Anatomie und Physiologie des Nervensystems. Uebersetzt von Hein. II. 263. Vergl. hierüber Traube, Beiträge zur experimentellen Pathologie und Physiologie. 2tes Heft. 136ff.

[3]) A. a. O. 343f. u. 362.

Kneipen des Vagus niemals ausbleibt, wie TRAUBE's Zeugniss und meine eigenen Erfahrungen vollkommen beweisen.

Das Verdienst, diese reflectorischen Beziehungen des Vagus zu den Athembewegungen zuerst streng bewiesen zu haben, gebührt TRAUBE.[1])

Dieser fand nämlich, dass die Erregung der centralen Enden beider am Halse durchschnittenen Vagi mittelst der Ströme einer SAXTON'schen Maschine einen Stillstand der Athembewegungen zur Folge habe, dass während dieses Stillstandes die Phrenocostalbündel des Zwerchfells stark contrahirt, der Thorax nicht verengert und die Bauchmuskeln nicht contrahirt seien; dass ein ebensolcher Stillstand während mehrerer Secunden eintrete, wenn man den Vagus oder dessen centrales Ende durch einen scharfen Scheerenschnitt plötzlich zerschneide; dass schwächere Erregung beider Vagi oder eines derselben Vermehrung der (nach Durchschneidung der Vagi bekanntlich sehr gesunkenen) Respirationsfrequenz zur Folge habe; endlich, dass alle diese Erfolge nicht etwa Folgen einer Schmerzerregung seien. Denn erstlich hatte TRAUBE die Kaninchen, an welchen er experimentirte, durch Entfernung des Grosshirns in einen schlafähnlichen Zustand versetzt, zweitens gab die Erregung eines Astes des Ischiadicus ganz andere Erfolge: lautes Geschrei (bei Schliessung der vorher angelegten Trachealfistel), starke Verengerung des Thorax und Bauches, starke Krümmungen des Rumpfes; von Zeit zu Zeit tiefe Inspirationen.

Die Ergebnisse dieser Versuche sind von PFLÜGER aus einer ungedruckten Abhandlung TRAUBE's mitgetheilt worden.[2]) Ich kann mir nicht versagen, sie hier nochmals wiederzugeben, da sie das Klarste und (wie ich zeigen werde) Richtigste sind, was über diesen Gegenstand zu Tage gefördert worden ist:

[1]) Medicin. Zeitung des Vereins für Heilkunde in Preussen. 1847. Nro. 5. Seite 20.

[2]) PFLÜGER: Ueber das Hemmungsnervensystem für die peristaltischen Bewegungen der Gedärme. Berlin 1857. 10f.

1. „Der Tetanus des centralen Stumpfes der pneumogastrischen Nerven, welche am Halse durchschnitten wurden, erzeugt vollkommenen Stillstand der Respiration.
2. Dieser Stillstand ist aber so zu sagen nichts weiter als eine in's Unbestimmte verlängerte tiefe Inspiration, was aus der unmittelbaren Inspection des Zwerchfells erhellt, nachdem man die Bauchhöhle geöffnet hat. Man sieht dann während der ganzen Dauer der Inductionsströme die Phrenocostalbündel des Zwerchfells in tetanischer Contraction begriffen, so dass die Wölbung desselben stark abgeflacht erscheint.
3. Während der Dauer der Inductionsströme bleiben die Exspirationsmuskeln vollkommen unthätig.
4. Wie seit lange bekannt ist, sinkt die Frequenz der Athemzüge nach Durchschneidung der Vagi ausserordentlich. Tetanisirt man nun das centrale Ende der durchschnittenen Nerven mit schwächeren Strömen, als sie vorher angewandt wurden, so vermag man aufs Neue die Zahl der Respirationen fast bis zur ursprünglichen Zahl zu vermehren.
5. Zerschneidet man mit der Scheere schnell den pneumogastrischen Nerven, so erzeugt man fast constant eine Unterbrechung der Respiration oder vielmehr eine tiefe Inspiration, welche bis zu 7 Secunden dauern kann."

Aus diesen Thatsachen schliesst TRAUBE:

„Es existiren in den pneumogastrischen Nerven nicht allein motorische Fasern, welche dem Larynx, Oesophagus u. s. w. angehören, und sensibele, deren Reizung Schmerz und exspiratorische Bewegungen (bei Vorhandensein der Hemisphäre), sondern auch centripetale Fasern, deren Erregung unwillkürliche Inspirationen erzeugt."

Ohne TRAUBE zu nennen berichtet ECKHARD Folgendes:[1]) Reizung der centralen Enden der durchschnittenen Vagi beschleu-

[1]) Grundzüge der Physiologie des Nervensystems. Giessen 1854. 136.

nigt die Athembewegungen, so lange die Reizung eine gewisse Stärke nicht übersteigt. „Werden aber beide Vagi gleichzeitig intensiveren Reizen ausgesetzt, so stellt das Centralorgan der Athembewegungen seine Thätigkeit ein, letztere sistiren, und zwar wie es scheint, in der Form der Exspiration oder wenigstens einer derselben nahen. Man beobachtet nämlich, dass das Zwerchfell einen Stand einnimmt, wie derselbe einer mässigen Exspiration entspricht, welches bei Kaninchen nach Entfernung der Haut an der Stellung des acuten Randes der Leber erkannt wird.“ An einer spätern Stelle giebt Eckhard noch an, dass während des Stillstandes der Athembewegungen die Exspiratoren sich in dauernder Contraction befinden, doch ist nicht recht ersichtlich, ob dies nur eine Annahme ist, oder sich auf wirkliche Beobachtungen stützt.

Budge berichtet, wie es scheint, ebenfalls ohne Traube's Versuche zu kennen, an die Pariser Academie Folgendes:[1]) Wenn man bei einem wohlätherisirten Kaninchen einen Vagus bloslegt, durch ein Stückchen Glas isolirt, und galvanisirt, so hören alle Inspirationsbewegungen sogleich auf, die Nasenlöcher erweitern sich nicht mehr, der Thorax wird nicht mehr erhoben und das Abdomen nicht mehr nach vorn getrieben. Im Gegentheil, die Respirationsorgane verharren in dem Zustande, wie bei der Exspiration, was die eingezogenen Nasenflügel, die geschlossene Stimmritze, die eingezogenen Bauchmuskeln beweisen. Sobald man aufhört, zu reizen, beginnen die Respirationsbewegungen sogleich wieder; reizt man den Nerven anhaltend längere Zeit, so beginnen die Bewegungen doch nach einiger Zeit wieder trotz der Reizung. Diese Zeit ist vom Alter des Thieres abhängig; bei jungen Kaninchen sah B. Stillstand bis zu 15, ja selbst 24 Secunden, bei sehr jungen Hunden etwa 25 Secunden, bei alten Kaninchen 2 — 3 Secunden. Nur der centrale Theil des Vagus hat diesen Einfluss; Reizung des peripherischen

[1]) Comptes rendus 1854. XXXIX. 749 ff.

Theils lässt die Athmung unverändert. Schwächere Ströme geben zuweilen Verminderung, niemals Vermehrung der Respirationsfrequenz. Die Reizung des centralen Vagusendes hat keinen Einfluss auf das Stimmband derselben Seite; ist aber der andere Vagus noch erhalten, so nähert sich das Stimmband dieser Seite der Mitte und bleibt in dieser Lage während der ganzen Dauer der Reizung. Dies ist die Folge einer reflectorischen Uebertragung der Erregung des einen Vagus auf den Recurrens der anderen Seite. Sind beide Vagi durchschnitten, und wird einer gereizt, so verharren sämmtliche Respirationsapparate im Zustande der Exspiration mit alleiniger Ausnahme der Glottis. Durchschneidet man das Rückenmark zwischen dem ersten und zweiten Wirbel, so hören sämmtliche Athembewegungen auf, mit Ausnahme derer im Gesicht. Wird nun der Vagus gereizt, so verschwinden auch diese. B. kommt hiernach zu dem Schluss, dass die Erregung der centripetalleitenden Vagusfasern die Exspirationsbewegungen anrege („excite"). Daraus sei verständlich, dass nach durchschnittenen Vagis die „passive Exspiration" (Erschlaffung des Zwerchfells und der übrigen Inspirationsmuskeln) fortdauere, dagegen die „active Exspiration" aufhöre. Dieses sei auch der Grund des schnellen Todes der Thiere, indem die schädliche Kohlensäure nicht ausgetrieben werden könne. (!)

Kölliker und H. Müller[1]) beobachteten bei Reizung eines centralen Vagusendes Stillstand des Zwerchfells in Inspirationsstellung und bei schwächerer Reizung Verlangsamung der Athembewegungen. Dies war stets bei Kaninchen der Fall. Bei einem Hunde jedoch sahen sie „bei schwächerer Reizung eines centralen Vagusendes jedesmal eine einzige krampfhafte Exspiration mit vorhergehender kurzer Inspiration in Form des Niesens." Bei stärkerer Reizung sahen sie jedoch auch hier Stillstand des Zwerchfells in dauernder Contraction eintreten.

[1]) Würzb. Verh. 1854. V. 233.

Lindner,[1]) welcher auf Traube's Veranlassung in Du Bois's Laboratorium arbeitete, bestätigt vollkommen die Angaben Traube's. Wurden die Grosshirnlappen abgetragen, so trat sogleich mit dem Beginn der Reizung starke Contraction des Zwerchfells ein; war aber jene Operation der Reizung nicht vorhergegangen, so hielt zuerst beim Beginn der Reizung das Zwerchfell die Exspirationsstellung inne, verschiedene Muskeln zogen sich zusammen, die Luft entwich heftig aus der Luftröhrenfistel, dann trat eine starke Contraction der Phrenocostalbündel des Zwerchfells ein, dieses stieg herab und flachte sich ab, seine Muskeln zitterten. Sobald die Reizung aufhörte, begannen die Athembewegungen mit einer tiefen Exspiration. Als aber das Thier schwächer wurde, nahmen auch die zu Anfang der Reizung eintretenden Exspirationsbewegungen ab und blieben zuletzt ganz aus. Als das Thier gestorben war und keine Respirationsbewegungen mehr machte, konnte durch Reizung des Vagus noch Contraction des Zwerchfells bewirkt werden. Bei einem Kaninchen legte L. den Scalenus blos und löste seine Insertionen von den Rippen ab; bei jeder Inspiration zog sich derselbe zusammen. (L. erklärt dies dadurch, dass die Trachealfistel durch Schleim, etc. verengt war.) Bei Reizung des Vagus contrahirten sich die Phrenocostalbündel des Zwerchfells, nicht aber der Scalenus. (Contrahirte sich dieser in demselben Rhythmus weiter, oder erschlaffte er?) Doch will L. auf diesen Versuch kein zu grosses Gewicht legen, da das Thier fast schon todt war. Uebrigens hat er den Versuch noch ein Mal mit gleichem Erfolge wiederholt. (Contrahirte sich dies Mal der Scalenus auch rhythmisch?)

Snellen,[2]) welcher in Donders' Laboratorium arbeitete, benutzte Kaninchen. Die Reizung geschah mittelst einer Saxton'schen Maschine, zur Beurtheilung der Zwerchfellsstellung wur-

[1]) De nervorum vagorum in respirationem efficacitate Diss. inaug. Berol. 1854.

[2]) Onderzoek. gedaan in het physiolog. Laborat. der Utrechtsche Hoogeschool. Jaar VII. Utrecht 1854—55. 121. ff.

den lange Nadeln hart unter dem Sternum durch die Bauchdekken eingesteckt, welche die Zwerchfellsbewegungen äusserlich sichtbar machten. Reizung des centralen Vagusendes brachte das Zwerchfell im Zustande der Inspiration zum Stillstand. Der Erfolg war derselbe, wenn das Thier ätherisirt war. Zugleich mit dem Stillstande des Zwerchfells wurden die Nasenflügel kräftig niedergedrückt, auch wenn eine Trachealfistel angelegt war. Ein mit dieser verbundenes Manometer zeigte ebenfalls die Einathmungsbewegung bei Reizung des Vagus an. Die erste Bewegung nach dem Aufhören der Reizung war eine deutliche Exspiration. Da der schwächste Strom seines Apparats schon Stillstand gab, so suchte S. ihn durch Einschaltung eines Eisendrahtes von ansehnlicher Länge noch mehr zu schwächen. Doch auch so erhielt er noch Stillstand, aber von sehr geringer Dauer, worauf einige kurze Ausathmungen folgten. Bei fortgesetzter schwacher Reizung erhielt er eine Abwechselung von momentanem Stillstand in Inspiration und einer Reihe von schnellen, kurzen Bewegungen. Sieht man von den Pausen ab, so war die Anzahl der Athembewegungen in der gleichen Zeit grösser, als vor der Reizung. Noch ansehnlicher war die Beschleunigung unmittelbar nach der Reizung.

Dass die Nasenflügel während der Reizung niedergezogen sind, erklärt S. nur für einen scheinbaren Widerspruch mit der Einathmungsstellung des Zwerchfells, da diese als eine reflectorische, unabhängig von dem gewöhnlichen Athmungsmechanismus aufzufassen sei. Schliesslich erinnert S. an die Untersuchungen Schroeder's van der Kolk über den Bau des verlängerten Marks, durch welche die Reflexbeziehungen des Vagus zu den Einathmungsnerven sehr erklärlich werden.[1])

[1]) Bei diesen Untersuchungen machte S. noch die sonderbare Beobachtung, dass Chloroform bei Kaninchen nach Durchschneidung beider Vagi beinahe unmittelbar den Tod zur Folge hat, während Aether sehr gut ertragen wird. Ich habe dieses ebenfalls einige Male gesehen.

v. Helmolt,[1]) welcher in Eckhard's Laboratorium arbeitete, schienen die von seinen Vorgängern angewandten Beobachtungsmethoden nicht sicher genug, weshalb er sich zweier anderer bediente. Entweder nämlich verband er mit der Luftröhre seitlich ein Manometer, dessen Schwankungen am Kymographion aufgezeichnet wurden, oder er liess den Blutdruck (bei Hunden in der Cruralis, bei Kaninchen in der Aorta descendens) aufzeichnen und machte aus den Veränderungen dieses, Schlüsse auf die Vorgänge im Athmungsapparat. Auf diesem Wege kam H. zu folgenden Ergebnissen: Starke Reizung eines oder beider Vagi an ätherisirten Thieren sistirt die Athembewegungen, doch treten während des Stillstandes ab und zu kleinere Bewegungen ohne bestimmte Gesetzlichkeit auf. Nach Aufhören des Reizes findet man meist Beschleunigung der Athembewegungen, zuweilen aber auch eine Nachwirkung der Reizung in Form von Verlangsamung. Schwächere Reize bewirken Verlangsamung, sehr schwache Beschleunigung ohne merkliche Aenderung der Intensität. Der Stillstand der Athmung findet, wie die Veränderungen des Blutdruckes anzeigen, bei mässig starker Reizung mit anhaltender Contraction der Inspirationsmuskeln, bei sehr starker Reizung mit einer „extraordinairen Zusammenziehung der Exspirationsmuskeln" Statt. In beiden Fällen ist der Stillstand jedoch niemals anhaltend, sondern von einzelnen Bewegungen unterbrochen, auch steigt, resp. sinkt der Blutdruck allmählich wieder während der Reizung, was H. der Ermüdung der betreffenden Muskeln zuschreibt. Beim Frosch fand H., dass bei einigermassen kräftiger Reizung des centralen Vagusendes die Athembewegungen sistirten, u. z. „in der Abtheilung, welche sich durch Eingezogensein der Kehle zu erkennen giebt."

Aubert und von Tschischwitz[1]) kamen im Allgemeinen zu einem ähnlichen Ergebniss wie v. Helmolt.

---

[1]) Ueber die reflectorischen Beziehungen des nervus vagus zu den motorischen Nerven der Athemmuskeln. Inauguraldiss. Giessen 1856.

Sie fanden nämlich:

1. dass sehr schwache Ströme des Inductionsapparates eine Beschleunigung oder eine Verlangsamung des Athmungsrhythmus bewirken, oder gar keine Reaction veranlassen;
2. dass stärkere Ströme einen Stillstand des Zwerchfells in Inspiration oder in Contraction,
3. sehr starke Ströme einen Stillstand des Zwerchfells in Exspiration oder in Erschlaffung herbeiführen.

Opiumnarkose, Abtragung der Grosshirnlappen, Blutungen sind ohne Einfluss auf diese Erfolge. Uebrigens haben die Verfasser nur an Kaninchen beobachtet, stets Tracheotomie gemacht, und sich vom Stande des Zwerchfells stets durch directe Ansicht nach eröffneter Bauchhöhle unterrichtet.

Ad 1. machen die Verfasser folgende Bemerkung, man müsse zwei Arten von Athmung unterscheiden, sehr kleine kaum zählbare Excursionen des Zwerchfells und sehr tiefe langsame Bewegungen. Beide können abwechselnd bei schwachen Strömen eintreten. Bei der ersten Art bleibt das Zwerchfell stets in der Nähe der Inspirationsstellung. Die Wirkung der schwachen Ströme sei also jedenfalls ein Ueberwiegen des Contractionszustandes.

Ob die Reizung während der Inspiration oder während der Exspiration beginnt, ist für den schliesslichen Erfolg der Reizung gleichgültig, ebenso ob ein oder beide Vagi gereizt werden, doch muss im ersten Fall die Reizung stets stärker sein. Niemals ist die während der Reizung stattfindende Contraction die grösstmögliche, sondern fast constant folgt auf die Unterbrechung der Reizung noch eine stärkere Contraction mit Einwärtsbiegung der Rippen, worauf erst wieder die regelmässige Athmung beginnt.

---

[1]) Molesch. Unters. 1857. III. 272. und Tschischwitz: Nervis vagis irritatis diaphragma num in inspiratione an in exspiratione sistitur? Diss. inaug. Vratislaviae 1857.

Löwinsohn[1]) sah in seinen unter Bidder's und Kupfer's Leitung an Hunden, Katzen und Kaninchen angestellten Versuchen bei Reizung des centralen Vagusendes stets Inspiration eintreten. Die Beobachtung geschah entweder durch Betrachtung der Stellung der Rippen, des Thorax und des Abdomen oder mit Hülfe des Kymographion, indem eine gabelig getheilte Kanüle in die Trachea gebunden wurde, deren einer Schenkel mit dem Manometer verbunden, deren anderer während des Versuchs geschlossen wurde, um hinreichend grosse Schwankungen zu erhalten. Bei schwächerer Erregung sah er Beschleunigung der Respiration. Merkwürdiger Weise sah er aber alle diese Erfolge auch bei Reizung der peripherischen Vagusenden eintreten. Er sucht dies von einer Erregung des Phrenicus nach Art der paradoxen Zuckung abzuleiten, ohne jedoch zu einem Resultate zu kommen, da er keine Verbindung beider Nerven auffinden konnte. Erregung des Sympathicus hatte keinen Einfluss auf die Athmung.

Cl. Bernard[2]) sah bei Hunden durch starke Reizung des centralen Vagusendes das Zwerchfell stets in Inspirationsstellung stillstehen. Diese überdauert die Reizung längere Zeit, dann beginnt die Respiration wieder, erst langsam, dann sehr beschleunigt, um dann allmählich wieder auf die frühere Frequenz zu fallen. Ebenso wie das Zwerchfell stehen auch die Rippen in Inspirationsstellung still. Dauert die Reizung lange an, so kehrt die Bewegung zuerst im Zwerchfell wieder, während die Rippen noch erhoben bleiben; dann gerathen auch diese in Bewegung, zuerst sehr schnell, dann allmählich in das frühere Tempo übergehend. Zuweilen dauert auch die Bewegung der Rippen fort, während das Zwerchfell still steht; dann ist sie aber schwach und auf beiden Seiten gleichmässig, auch wenn nur ein Vagus

---

[1]) Experimenta de nervi vagi in respirationem vi et effectu. Diss. inaug. Dorpati Livon. 1858.

[2]) Leçons sur la physiologie et pathologie du système nerveux. II. 382 ff.

gereizt wird. Schwache Reizung vermehrte die Respirationsfrequenz. Bei Kaninchen waren die Erscheinungen dieselben, nur sah BERNARD hier, ebenso wie LÖWINSOHN, Stillstand auch bei Reizung des peripherischen Vagusendes.

Die Richtigkeit der Angaben von AUBERT und v. TSCHISCHWITZ zu prüfen, stellte GILCHRIST[1]) Versuche in DU BOIS-REYMOND's Laboratorium mit einem eigens zu diesem Zweck gebauten sehr grossen Magnetelectromotor an, welcher Ströme von der geringsten, bis zu einer sehr beträchtlichen Stärke lieferte. Den Zustand des Zwerchfells beurtheilt er stets durch unmittelbare Betrachtung nach geöffneter Bauchhöhle. Er legt beide Vagi blos, isolirt sie, ohne sie zu berühren, vom Laryngeus superior bis zum untern Ende des Halses hin, so dass er sicher ist, dass die Nerven selbst und die Laryngei superiores nicht im Mindesten beschädigt sind. (Warum er auf die Unversehrtheit der letzteren so grosses Gewicht legt, sagt G. nicht.) Die Enden der Vagi wurden dann auf DU BOIS-REYMOND's stromzuführende Vorrichtung gelegt und die Reizung konnte mit Hülfe des Schlüssels plötzlich angefangen und unterbrochen werden. Auf diese Weise sah G. durch sehr schwache Ströme Beschleunigung der Respiration eintreten, bei etwas stärkeren Strömen Stillstand in Inspiration. Dieser letztere Erfolg blieb aber ungeändert, wenn die Stärke der Ströme auch noch so gross war. Niemals sah er in allen seinen Versuchen (13 im Ganzen) Stillstand in Exspiration, und er behauptet daher, dass dieser letztere, wenn er eintrete, nur von einer Complication des Versuchs herrühre, doch hat er das Wesen derselben nicht zu finden vermocht. Die Zwerchfellscontraction überdauere übrigens die Reizung stets einige Zeit, und das Zwerchfell erschlaffe dann ganz allmählich und gleichsam in Absätzen.

In einem Versuch sah G. die blosgelegte Glottis bei der Reizung sich schliessen und mehrere Secunden geschlossen bleiben.

---

[1]) The British and foreign medico-chirurgical review. 1858. XXII. 495.

(Waren beide Vagi durchschnitten?) Er glaubt, dass der krampfhafte (?) Schluss der Glottis das Zwerchfell an seinem Platze halten müsse, auch wenn dessen Contraction schon abgenommen hätte. (?)

Um die vielen Widersprüche über diesen Gegenstand aufzuklären, unternimmt Budge eine erneute Untersuchung.[1]) Er richtet seine Aufmerksamkeit auf das Zwerchfell, die Nasenöffnungen und die Stimmbänder. Es scheint ihm unwahrscheinlich, dass das Zwerchfell in Inspirationsstellung stillstehen könne, während die Nasenlöcher und die Stimmritze verengt sind. Er glaubt, dass die Widersprüche sich lösen, wenn man beachtet:

1. Dass das Zwerchfell und die anderen in Betracht kommenden Theile schon in Bewegung seien, man müsse daher genau bestimmen, wie gross der zurückzulegende Weg vor der Reizung gewesen ist und wie sich derselbe während der Reizung geändert hat.
2. Dass man nur solche Versuche als vollgültig ansehen kann, welche an wohlätherisirten Thieren gemacht sind, weil sonst der durch die Reizung entstehende Schmerz zu Aenderungen in den Athembewegungen führen kann.
3. Dass Stromschleifen durch den Phrenicus gehen können, welcher nach Budge's Untersuchungen ungemein empfindlich gegen galvanische Erregung ist.
4. Die Schwierigkeit der Beobachtung bei der ungemeinen Geschwindigkeit der Bewegungen bei den meist angewandten Kaninchen.

Budge verfährt bei seinen Versuchen folgender Maassen: Nachdem die Kaninchen ätherisirt sind, bis sie beim Kneipen der Zehen, Reizung derselben oder des Auges mittelst starker Inductionsströme nicht mehr reagiren, legt er den Nerven in der Nähe des Schlüsselbeins bloss, unterbindet, durchschneidet hinter dem Unterband, präparirt ihm auf eine gute Strecke frei und

[1]) Virch. Arch. 1859. XVI. 433.

legt ihn „auf zwei aufeinander liegende ziemlich grosse Objectträger.“ Die Reizung bewirkt er, wie es scheint, durch Anlegen der mit der secundären Spirale des Magnetelectromotor verbundenen Drähte an den Nerven.

Die Beobachtung geschieht entweder an einer Glasröhre, deren eines Ende in Wasser taucht, deren anderes durch ein Kautschukrohr mit einer Hornspitze verbunden ist. Diese wird in das eine Nasenloch gesteckt, und die Bewegungen des Wassers in der Röhre zeigen die In- und Exspirationen an. Oder er beobachtet direct die Stellung der Nasenflügel, des Zwerchfells, der Stimmbänder. Die Weite der Nasenlöcher ist, wie Budge angiebt, ein „getreuer Spiegel der Zwerchfellsbewegungen.“ Ihre Beobachtung ist daher die Hauptgrundlage der von ihm vertretenen Ansicht. Jedoch hat er die Beobachtung des Zwerchfells nicht vernachlässigt. Er empfiehlt, bei der Beobachtung ein Gefäss oder einen Rippenrand ins Auge zu fassen, an welchem zufällig der äusserste Rand des Lumbartheils bei der Inspiration anlangt, oder in Ermangelung dessen eine Nadel an der Stelle, welche das Zwerchfell bei der Einathmung erreicht, einzustechen. Man könne dann leicht beurtheilen, wie sich die Stellung des Zwerchfelles während der Reizung verhält.

Reizung des centralen Endes eines Vagus, sowohl starke, wie schwache, hat Verengerung der Nasenlöcher zur Folge. Zuweilen geht der Verengerung eine Erweiterung voraus. Stehen die Nasenflügel nicht ganz still, so ist jedenfalls die Erweiterung geringer, die Verengerung grösser, als vor der Reizung. Bei schwachen Strömen kann die Frequenz der Athemzüge zu- oder abnehmen. Das letztere ist aber nur scheinbar, indem es auf der Abwechselung kurzer Stillstände mit sehr kleinen, schnellen Respirationen beruht. Reizung eines Vagus hat ferner Einwärtsbewegung des entgegengesetzten Stimmbandes zur Folge, wenn der andere Vagus und Recurrens noch unverletzt sind. Am Kehlkopf finde man dieselbe Erscheinung wie an der Nase. (Soll wol heissen, dass der Kehlkopf

während der Reizung an seiner höchsten Stelle stehen bleibe.) Das Zwerchfell contrahirt sich während der Reizung niemals so stark als vorher, stets weicht es zurück, bald mehr, bald weniger. Contraction der Bauchmuskeln ist bei der Reizung an Kaninchen nicht immer gleich gut zu beobachten, Spuren davon sind jedoch immer vorhanden. Bei Hunden dagegen sah Budge häufig energische Contraction der Bauchmuskeln. Von Reizung des peripherischen Vagusendes sah Budge keinen Einfluss auf die Athmung.

Soweit die thatsächlichen Angaben Budge's, aus welchen er den Schluss zieht, dass Reizung des Vagus „die Tendenz zur Exspiration" vermehrt. Auf seine theoretischen Speculationen kommen wir noch zurück.

Owsjanikow[1]) experimentirte an chloroformirten Hunden mit Hülfe des Sibson'schen Thoracometers. Zur Reizung dienten 1—3 galvanische Elemente, Du Bois's Schlitten und der Unterbrecher von Siemens. (?)

Er zieht aus mehr als 30 Versuchen folgende Schlüsse:

1. Schwache Ströme sind ohne Wirkung.
2. Mittelstarke geben kurzen Stillstand in Exspiration, zuweilen nach einigen Schwankungen.
3. Starke Ströme bewirken Stillstand in Exspiration auf 3—10 Secunden. Die Exspiration ist tiefer als gewöhnlich.

Ausser diesen Arbeiten mögen hier noch einige gelegentliche Angaben über unsern Gegenstand eine Stelle finden: Funke (Lehrbuch. 3. Aufl. II. 528.) spricht sich für Stillstand des Zwerchfells in Inspirationsphase aus. Schiff (Lehrbuch I. 412.) sah den Brustkasten nach stärkerer Reizung eines oder beider Vagi stets in Inspirationsphase stillstehen und leitet die Exspirationsstellung nur von Ermüdung ab, welche um so schneller

[1]) Virch. Arch. 1860. XVIII. 572.

eintrete, je stärker die Ströme seien. War nur ein Vagus durchschnitten, so schienen ihm die Glottismuskeln der anderen Seite unmittelbar in den exspiratorischen Zustand überzugehen. Wolff endlich (De functionibus nervi vagi. Dissertat. inaug. Berol. 1856) sah bei Gelegenheit seiner unter Remak's Leitung angestellten Versuche über den Einfluss des Vagus auf das Erbrechen bei Erregung des centralen Vagusendes lang anhaltende Inspiration mit einzelnen tiefen Exspirationen abwechseln.

DRITTES CAPITEL.

Jetziger Stand der Frage.

Aus dieser Zusammenstellung der bisherigen Arbeiten, bei deren Wiedergabe ich bemüht war, die Angaben der Verfasser möglichst getreu und unbefangen darzustellen, ergiebt sich leider der traurige Schluss, dass wir über die eigentlichen Beziehungen des Vagus zu den Athembewegungen noch durchaus keine klare Einsicht haben. Die Ansichten der verschiedenen Forscher stehen einander ganz schroff und unvermittelt gegenüber, und fest steht nur, dass Reizung des centralen Vagusendes die Athembewegungen überhaupt zum Stillstand bringen kann. Ueber die Art dieses Stillstandes aber sind sie uneinig, indem die Einen den Stillstand in Inspirationsstellung annehmen (Traube, Kölliker und H. Müller, Snellen, Lindner, Löwinsohn, Bernard, Gilchrist, Funke, Schiff), die Andern Stillstand in Exspirationsstellung (Eckhard, Budge, Owsjanikow), noch Andere endlich, je nach der Stärke der Ströme bald In- bald Exspirationsstellung erfolgen lassen (v. Helmolt, Aubert und v. Tschischwitz). Ebensowenig herrscht Uebereinstimmung in Bezug auf die Frage, wie sich schwächere Ströme verhalten, doch liesse sich hier noch am ehesten eine

Ausgleichung erzielen, wenn man annimmt, (wie ja auch Snellen und Budge, in seiner neueren Arbeit, thun) dass die Abnahme der Athemfrequenz nur eine scheinbare, durch einzelne kurz dauernde Stillstände bedingte ist.

Bei dieser Lage der Dinge ist es nur möglich, dass einzelne Forscher sich geradezu getäuscht haben, oder dass von Allen ein wesentlicher Umstand übersehen worden ist, welcher auf den Erfolg der Vagusreizung von Einfluss ist. Bevor wir daran gehen, einen solchen Umstand durch Versuche aufzufinden, wird es jedoch zweckmässig, ja nothwendig sein, das vorhandene Erfahrungsmaterial einer kritischen Sichtung zu unterwerfen, um so wo möglich zu Fingerzeigen über den zur Lösung der Frage einzuschlagenden Weg zu gelangen.

Hierbei drängt sich uns zunächst die Bemerkung auf, dass vielleicht sehr viel mehr Klarheit in einige der Untersuchungen gekommen wäre, wenn die Begriffe der „Inspiration“ und „Exspiration“ bestimmter aufgefasst worden wären. An und für sich haben diese Worte doch nur eine Bedeutung in Bezug auf die Druckverhältnisse in den Luftwegen. Wird der Druck in diesen vermindert, so nennen wir dies eine „Inspiration,“ wird er vermehrt, so sprechen wir von „Exspiration.“ Diese Druckveränderungen in den Luftwegen können auf die mannigfachste Weise bewirkt werden. Muskeln, deren Contraction eine Vergrösserung der Thoraxhöhle und somit eine Druckverminderung in den Luftwegen zur Folge hat, sind „Inspirationsmuskeln,“ umgekehrt sind Muskeln, deren Contraction eine Volumabnahme der Thoraxhöhle zur Folge hat, „Exspirationsmuskeln.“ Wenn aber ein oder mehrere Muskeln der ersten Art sich gleichzeitig mit einem oder mehreren Muskeln der anderen Art zusammenziehen, so wird der schliessliche Effect in Bezug auf den Druck in den Luftwegen lediglich von der relativen Stärke dieser Zusammenziehungen abhängen. Ein Forscher, welcher in einem solchen Falle nur die eine Muskelgruppe betrachtet, wird sagen: es sei eine Inspiration; ein anderer, der die andere

Muskelgruppe in's Auge fasst, wird es eine Exspiration nennen, und ein Dritter, der ein Manometer in die Luftwege einführt, wird entweder das eine oder das andere sagen, je nachdem die Muskeln der einen oder der anderen Art das Uebergewicht haben.

Zwar meint Budge, es sei sehr unwahrscheinlich, dass die Natur, wie er sich ausdrückt, so en deux mains handle[1]); aber ob unwahrscheinlich oder nicht, — darüber wollen wir mit ihm nicht streiten, — die Möglichkeit kann jedenfalls nicht geleugnet werden, so lange nicht genaue Versuche das Gegentheil bewiesen haben. Ich für meine Person masse mir nicht an, im Voraus bestimmen zu wollen, wie die Natur in jedem Falle handeln werde. Ich weiss, dass im normalen Zustande gewisse Muskeln sich in rhythmischer Folge contrahiren und wieder erschlaffen. Wird diese Regelmässigkeit irgendwie gestört, so muss für jeden Muskel einzeln untersucht werden, wie er sich verhält. Dann erst hat es einen Werth, zu wissen, wie sich die Druckverhältnisse, welche die Resultirende aller Muskelwirkungen sind, verändern. Hieraus folgt also die Forderung:

> Dass für jeden einzelnen Respirationsmuskel genau constatirt werde, ob er während der Reizung des centralen Vagusendes im Zustande der Contraction oder der Erschlaffung verharre.

Es liegt in der Natur der Sache, dass von allen Respirationsmuskeln das Zwerchfell als der wichtigste am meisten die Aufmerksamkeit auf sich gelenkt hat. Mit ihm haben sich daher die meisten Forscher ausschliesslich oder vorzugsweise beschäftigt. Sehen wir davon ab, dass nach Aubert und von Tschischwitz sehr starke Ströme gerade den entgegengesetzten Erfolg haben, so schreiben nur Eckhard und Budge demselben während der Vagusreizung eine „Exspirationsstellung" zu. Aber

[1]) Virch. Arch. XVI. 436.

Eckhard drückt sich sehr unbestimmt aus, wenn er sagt:[1]) „Jene (d. h. die Athembewegungen) sistiren und zwar wie es scheint in der Form der Exspiration oder wenigstens in einer derselben nahen.“ Da er nun das Zwerchfell gar nicht direct beobachtet hat, so wird man sein Zeugniss schwerlich dafür anführen können, dass das Zwerchfell während der Vagusreizung erschlafft sei.

Ganz dasselbe gilt aber von Budge in noch höherem Maasse. Dieser sagt nämlich:[2]) „Niemals bei vollständiger Isolirung des nervus vagus sieht man eine so starke Inspirationsbewegung als vorher, immer ist ein Zurückweichen des Zwerchfells bemerkbar, bald wenig, bald so stark, wie bei der intensivsten Exspiration.“ Budge spricht es also ausdrücklich aus, dass das Zwerchfell nicht immer in die Stellung der intensivsten Exspiration zurückgeht. Nun ist es aber klar, dass das Zwerchfell stets und unter allen Umständen in diese Stellung gelangen muss, wenn es nicht thätig, nicht von den Phrenicis aus innervirt ist. Denn die über ihr natürliches Volum ausgedehnten elastischen Lungen werden sich so lange contrahiren und das erschlaffte Zwerchfell nach oben ziehen, bis die Spannung des nach oben gewölbten Zwerchfells der Elasticität der Lungen das Gleichgewicht hält. Hieraus folgt, dass wenn Budge zuweilen das Zwerchfell in einer Stellung hat verharren sehen, welche nicht die der intensivsten Exspiration war, Budge selbst das Zwerchfell in Folge der Vagusreizung hat in dauernde Contraction gerathen sehen.

Budge freilich wird diese Schlussfolgerung schwerlich anerkennen, da er über die physicalischen Verhältnisse der Athmungsorgane ganz besondere Vorstellungen hat. So sagt er z. B.[3]) „Die Bewegung des Zwerchfells beim Einath-

[1]) A. a. O.

[2]) A. a. O. 454.

[3]) A. a. O. 442.

men ist zum Theil eine passive, indem der Druck der durch die eingeathmete Luft ausgedehnten Lungen das nachgiebige Zwerchfell nach unten wölbt, namentlich an dem nicht contractilen Centrum tendineum, theils eine active durch Muskelfasern." Da meine physicalischen Kenntnisse, wie ich leider gestehen muss, nicht ausreichen, dies zu begreifen, und da BUDGE versäumt hat, einen Commentar dazu zu liefern, so muss ich schon vor der Hand bei der obigen Schlussfolgerung verharren und muss es darauf ankommen lassen, ob BUDGE mir einen Irrthum in derselben nachweisen werde.

Diesen Angaben gegenüber stehen die über jeden Zweifel erhabenen TRAUBE's und der andern Forscher, welche während der Vagusreizung das Zwerchfell wirklich contrahirt gesehen haben. „Man sieht dann" sagt TRAUBE[1]) „während der ganzen Dauer der Inductionsströme die Phrenocostalbündel des Zwerchfells in tetanischer Contraction begriffen, so dass die Wölbung desselben stark abgeflacht erscheint." Und in der That, wer den Versuch in richtiger Weise angestellt hat, muss dies jedenfalls gesehen haben. Es kann sich also gar nicht mehr um die Frage handeln, ob dass Zwerchfell bei Vagusreizung in Contraction geräth. Daran wird heutzutage ausser BUDGE wol Niemand mehr zweifeln.[2]) Es fragt sich nur noch, ob unter Umständen auch Erschlaffung des Zwerchfells die Folge jener Erregung sein kann. AUBERT und v. TSCHISCHWITZ behaupten dies, und zwar soll es regelmässig bei Anwendung sehr starker Inductionsströme der Fall sein. Ich kann diese Angabe im Allgemeinen bestätigen, muss jedoch bemerken, dass, so leicht es ist, Contraction des Zwerchfells zu erhalten, man manchmal trotz aller Bemühungen nicht im Stande ist, unzweifelhafte Erschlaf-

---

[1]) Bei PFLÜGER 11.

[2]) Von Herrn OWSJANIKOW weiss ich es, dass er sich von der Richtigkeit der Thatsache überzeugt hat, da ich sie ihm selbst gezeigt habe.

fung zu sehen, während dies andre Male bei verhältnissmässig schwachen Strömen gelingt.

Was die übrigen Respirationsmuskeln betrifft, so geben Budge und Snellen übereinstimmend an, dass die Nasenflügel während der Reizung niedergedrückt seien, Gilchrist sah Schliessung der Stimmritze, Budge und Schiff, dass das Stimmband der anderen Seite sich der Mittellinie nähere. Traube sah die Exspirationsmuskeln vollkommen unthätig, Budge will Spuren von Contraction in den Bauchmuskeln stets gesehen haben. Der Kehlkopf endlich soll nach Budge stets die der Exspiration zukommende Stellung einnehmen. Den Thorax sah Schiff bei Kaninchen und Meerschweinchen in der Inspirationsstellung, Owsjanikow bei Hunden in der Exspirationsstellung stillstehen. Den Scalenus sah Lindner nicht sich contrahiren.

Wir wollen die weitere Betrachtung dieser Angaben auf später verschieben und zunächst beim Zwerchfell stehen bleiben. Worin liegt der Grund, dass das eine Mal das Zwerchfell in Contraction, das andere Mal in Erschlaffung stillsteht? Die verschiedene Stärke der Ströme kann natürlich nur die entferntere Ursache sein, deren Zusammenhang mit dem verschiedenen Verhalten des Zwerchfells eben der Aufklärung bedarf. Die Bemerkung von Aubert und v. Tschischwitz ist vollkommen richtig, dass es ein Factum ohne alle Analogie sei, dass schwache Ströme eine Contraction, starke eine Erschlaffung hervorrufen. Wenn dem aber so ist, so muss es um so wichtiger erscheinen, wenigstens einen Versuch zur näheren Aufklärung des Räthsels zu machen.

An einem solchen Versuch fehlt es bis jetzt so gut wie ganz. Schiff's Ansicht, dass die Erschlaffung der Athemmuskeln nur durch Ermüdung bedingt sei, erledigt sich von selbst, indem man in einzelnen Fällen mit der grössten Bestimmtheit unmittelbar im Beginn der Reizung das Zwerchfell erschlaffen und während der ganzen Dauer der Reizung erschlafft bleiben sieht. Dadurch wird auch zugleich die Annahme beseitigt, als

handle es sich um eine Erschöpfung des Vagus durch die starke Reizung, abgesehen davon, dass in diesem Falle das Zwerchfell nicht erschlaffen, sondern wie vor der Reizung in rhythmischer Aufeinanderfolge sich contrahiren müsste, was schon FUNKE richtig angemerkt hat. Eher noch könnte des Letzteren Vermuthung richtig sein, dass durch die starke Erregung des Vagus das Centralorgan der Zwerchfellsbewegungen überreizt und gelähmt werde.[1]) Man sieht, dass diese Erklärung von der Annahme ausgeht, dass die eigentliche Wirkung der Vaguserregung eine vermehrte Thätigkeit der Inspirationscentren sei, und dass nur die übermässige Erregung Lähmung derselben zur Folge habe.

Diese Annahme hat jedenfalls das für sich, dass sie die vorhandenen Thatsachen vollkommen erklärt, aber freilich auf eine Weise, von der wir uns keine klare Vorstellung machen können. Wir wissen von dem Mechanismus der nervösen Centralorgane so wenig, dass wir denselben eben alles zuschreiben können, was uns beliebt, und wir sind dadurch leider gewöhnt worden, diese überall zu Hülfe zu nehmen, wo uns eine anderweitige Erklärung mangelt, und dann je nach Bedürfniss den Centralapparaten diese oder jene Eigenschaft zuzuschreiben. Ich brauche nur an die STANNIUS'schen Versuche zu erinnern, und an die vielen Hypothesen der Nachfolger von STANNIUS, so wird mir jeder Recht geben. Unter diesen Umständen aber wird man es sich jedenfalls zum obersten Grundsatz machen müssen, zu solchen Erklärungen mit Hülfe der Centralapparate nur dann zu greifen, wenn jeder andere Erklärungsversuch scheitert.

Was nun unsern Gegenstand betrifft, so schien mir die Möglichkeit, eine andere und einfachere Erklärung zu finden, noch nicht erschöpft. Ich sagte mir, dass vielleicht im Halstheile des Vagus zwei verschiedene Arten von Fasern enthalten

[1]) Lehrbuch II. 531.

seien, welche zu den Athembewegungen in reflectorischer Beziehung stehen. Durch die Erregung der einen Art, dachte ich mir, wird das Centrum des Zwerchfells in vermehrte und dauernde Thätigkeit versetzt und das Zwerchfell geräth in dauernde Contraction, durch die Erregung der andern Art wird das Zwerchfellscentrum ganz in Unthätigkeit versetzt, und das Zwerchfell geräth in dauernde Erschlaffung. Werden beide Arten von Fasern gleichzeitig erregt, so hat bald die eine, bald die andere Art das Uebergewicht, je nach der Stärke der Reizung. Vielleicht gelingt es beide Nervenarten auf die eine oder andere Weise zu trennen, wo man denn ohne Rücksicht auf die Stärke der Ströme, nur die eine oder nur die andere Wirkung erhalten müsste.

Diese Hypothese empfiehlt sich, glaube ich, sehr durch ihre Einfachheit. Schon längst sind wir gewöhnt, die Nervenstämme nicht als physiologische Individuen anzusehen, sondern nur als die breite Heerstrasse, auf welcher Fasern der verschiedensten Art ihren Weg von den Centralorganen zu gewissen Körperstellen oder umgekehrt verfolgen. Auch ist diese Hypothese gar nicht neu, sondern von früheren Autoren eigentlich stillschweigend schon als erwiesen angenommen worden. So sagt z. B. Traube:[1]) „Es existiren also in den pneumogastrischen Nerven nicht allein motorische Fasern, welche dem Larynx, Oesophagus u. s. w. angehören, und sensibele, deren Reizung Schmerz und exspiratorische Bewegungen (bei Vorhandensein der Hemisphären), sondern auch centripetale Fasern, deren Erregung unwillkürliche Inspirationen erzeugt. Unsere Ansicht würde sich also von der Traube'schen nur dadurch unterscheiden, dass wir die Erschlaffung des Zwerchfells nicht blos als eine durch Schmerz bewirkte Exspirationsbewegung ansehen, da diese Erschlaffung des Zwerchfells ja auch

[1]) Bei Pflüger 11.

bei wohl narcotisirten Thieren und nach Entfernung der Grosshirnhemisphären zuweilen eintritt.

Ein näheres Eingehen auf die vorhandenen Angaben zeigt aber fernerhin, dass es durchaus möglich sei, dass die von TRAUBE stillschweigend angenommenen, von uns vermutheten Fasern, deren Erregung Erschlaffung des Zwerchfells zur Folge haben soll, gar nicht im Vagus selbst enthalten seien. Denn einerseits ist die Annahme, dass der Vagus unterhalb der Nn. laryngei superiores sensibel sei, durchaus nicht erwiesen. Man kann sich leicht überzeugen, dass Kaninchen auf Durchschneidung des Vagusstammes gar nicht reagiren, während die Durchschneidung eines der in der Nähe gelegenen Cervicalnerven die heftigsten Schmerzensäusserungen zur Folge hat. Auf diese Frage werden wir später noch zurückzukommen Gelegenheit haben. Andrerseits aber muss die Thatsache, dass Erschlaffung des Zwerchfells grade bei Reizung mit sehr starken Strömen auftritt, dem Verdachte Raum geben, dass wir es hier vielleicht mit der Wirkung von Stromesschleifen zu thun haben, durch welche ganz andere, gar nicht innerhalb der Electroden begriffene, Nervenfasern erregt worden sind.

Auf den ersten Blick scheint dieser Verdacht allerdings sehr ungerechtfertigt, indem fast alle Autoren ausdrücklich angeben, dass sie sich durch sorgfältige Isolation vor unipolaren Abgleichungen zu schützen gesucht haben. Dennoch muss ich bei meinem Ausspruche bleiben, da der Beweis für jene Angabe nirgends geliefert ist. Wenn z. B. BUDGE sagt:[1]) „Während der Reizung darf kein anderer Muskel, z. B. der vorderen Extremität, zucken, auch keine auf Schmerz deutende Erscheinung auftreten," so lässt sich dagegen einwenden, dass die Sicherstellung vor Stromschleifen, welche Muskeln der vorderen Extremität zum Zucken bringen, so gut wie gar keine Sicherstellung ist. Ich habe mich oftmals überzeugt, dass Stromschleifen

[1]) A. a. O. 439.

vorhanden waren und zu Täuschungen Veranlassung gaben, wo nicht ein Mal die ganz in der Nähe befindlichen Halsmuskeln, geschweige die der oberen Extremität zuckten. Und von Schmerzensäusserungen kann doch nicht wohl die Rede sein, da BUDGE's Thiere ja tief narcotisirt waren. Viel besser ist, was BUDGE hinzufügt: „Ein gutes Mittel, um zu sehen, ob das galvanische Fluidum nicht an einen unrechten Ort übergehe, besteht darin, einen präparirten Froschschenkel in die Nähe zu legen." Leider aber ist dieses Mittel, wenn auch unschätzbar, kein unfehlbares. Man überzeugt sich nämlich sehr bald, dass Froschnerven in Berührung mit Theilen warmblütiger Thiere in sehr kurzer Zeit so viel von ihrer Erregbarkeit einbüssen, dass sie unzweifelhaft vorhandene Stromschleifen nicht mehr anzeigen. Will man daher sicher sein, bei vivisectorischen Versuchen nicht das Opfer grober Täuschungen zu werden, so muss man sehr viel grössere Vorsichtsmassregeln anwenden, besonders wenn man es mit kurzen Nerven zu thun hat, welche zwingen, mit den Electroden nahe an die Stelle zu gehen, wo der zu reizende Nerv mit der gut leitenden, eine grosse Oberfläche bietenden Masse des Thieres zusammenhängt.

Ich werde auf diese Massregeln zurückkommen, wenn ich meine eigenen Versuche mittheilen werde, und fahre vorläufig in der Verfolgung der Hypothesen fort, welche mich zu den Versuchen geführt haben. Wenn, sagte ich mir, nur Stromschleifen es sind, die bei Anwendung starker Ströme zur Erregung des Vagusstammes den Erfolg umkehren, und das Zwerchfell, statt in Contraction, in Erschlaffung stillstehen machen, so liegt nichts näher, als die Annahme, dass die durch Stromschleifen erregten Nervenfasern in N. laryngeus superior enthalten seien. Denn der N. laryng. sup. ist ein vorzugsweise sensibler Nerv; er versorgt die Schleimhaut der Luftwege, durch deren Reizung Husten erregt wird; der Husten ist ein vorzugsweise exspiratorischer Act; während des Hustenanfalles selbst ist das Zwerchfell erschlafft, es contrahirt sich nur in den Pausen

zwischen zwei Anfällen. Wenn alles dies richtig ist, so muss es gelingen, durch schwache Erregung des N. laryng. sup. das Gegentheil von dem zu bewirken, was schwache Erregung des Vagusstammes unterhalb des Laryng. sup. bewirkt, nämlich Erschlaffung des Zwerchfells. Eine andere Frage würde dann die sein, ob die Erschlaffung des Zwerchfells bei Erregung des Vagusstammes nur von Stromesschleifen herrührt, welche durch den Nervus laryng. sup. gehen, oder ob auch unterhalb dieses Astes im Vagus schon Fasern enthalten seien, welche die gleiche Wirkung auf das Zwerchfell haben, wie dies Traube angenommen hat. Die Entscheidung dieser Fragen würde, wie man sieht, nicht blos für den Mechanismus der Respiration, sondern auch für die allgemeine Nervenphysiologie von Interesse sein. Nach Lösung der Aufgabe in Bezug auf das Zwerchfell würden dann natürlich dieselben Fragen für alle übrigen Respirationsmuskeln zu stellen sein.

VIERTES CAPITEL.

Beobachtung des Zwerchfells. Der Phrenograph.

So einfach es scheint, in jedem einzelnen Versuch zu entscheiden, ob das Zwerchfell in Contraction oder Erschlaffung stillstehe, so überzeugt man sich doch leicht von der Schwierigkeit dieser Entscheidung in manchen Fällen. Aus dem, was oben über die Bewegung des Zwerchfells gesagt worden, ergiebt sich von selbst, dass wir dasselbe nur dann für erschlafft erklären können, wenn es möglichst gewölbt ist und den Stand einnimmt, welchen es bei der tiefsten Exspiration erreicht. In allen anderen Fällen schreiben wir ihm eine grössere oder geringere Contraction zu, je nachdem es mehr oder minder von jener höchsten Stellung abweicht. Bei der geringen Grösse, welche aber die Zwerchfellsbewegungen überhaupt, wenigstens bei Kaninchen, haben, hält es oft sehr schwer, hierüber nach dem blossen Augenschein zu entscheiden. Diese Schwierigkeit ist besonders gross, wenn man das Zwerchfell nicht selbst vor Augen hat, sondern auf seine Stellung aus der Form der Bauchdecken, dem Stande des scharfen Leberrandes oder des durch die Pleura gesehenen Lungenrandes schliessen will. Hat man jedoch die Bauchhöhle geöffnet, das lig. suspens. hep. durchschnitten und die Leber etwas

bei Seite geschoben, so dass man wenigstens die eine Hälfte des Zwerchfells ganz übersehen kann, so kann man bei einiger Uebung wol immer zur Entscheidung kommen. Es ist dabei sehr zweckmässig, was BUDGE empfiehlt, sich ein Gefäss oder einen Rippenrand zur Marke zu nehmen, nach welcher man sich orientiren kann. So sieht man z. B. besonders bei dem sehr durchsichtigen Kaninchenzwerchfell den hinteren Lungenrand bei jeder In- oder Exspiration gerade an der Theilungsstelle eines Gefässes anlangen, oder auch an der Kreuzungsstelle eines Gefässes und eines Rippenrandes. Bei dem weniger durchsichtigen Zwerchfell des Hundes oder der Katze ist dies nicht so leicht, aber hier sind dafür die Bewegungen viel energischer und somit das Urtheil über den Stand des Zwerchfells viel leichter. Es ist hier fast in allen Fällen möglich, schon durch die blosse Anschauung des Zwerchfells zu entscheiden, ob die Zwerchfellsbündel contrahirt oder erschlafft sind.

Noch auf einen Punct will ich mir erlauben, aufmerksam zu machen, welcher besonders bei Katzen hervortritt, und leicht zu Täuschungen Veranlassung geben kann, nämlich auf die passiven Bewegungen des Zwerchfells. Ist das Zwerchfell nämlich erschlafft oder contrahirt, während der Thorax noch Bewegungen macht, so müssen sich diese natürlich dem Zwerchfell mittheilen, nicht blos wegen der Anheftung des Zwerchfells am Rippenrand, sondern auch wegen der Elasticität der Lungen. Denn bei der Erweiterung des Thorax nimmt der Druck innerhalb desselben ab und das Zwerchfell wird daher nach oben gezogen; bei Verengerung des Brustkorbes aber steigt das Zwerchfell ein wenig nach abwärts. Man sieht diese passiven Bewegungen besonders schön, wenn das Zwerchfell erschlafft ist (besonders nach Durchschneidung beider Phrenici oder auch nur des einen auf der entsprechenden Seite), und kann sie schon dadurch von wahren Zwerchfellscontractionen unterscheiden, dass sie in ihren Phasen den Respirationsbewegungen des Brustkorbes gerade entgegengesetzt sind.

Man kann auch die Bewegungen des Zwerchfells durch eine lange Nadel sichtbar machen, welche man durch die Bauchdecken einsticht. Schon Snellen hat dieses Verfahren angewandt, welches den Vortheil bietet, dass man das Thier fast nicht zu verletzen braucht. Auch ich habe mich desselben zuweilen bedient, besonders in Fällen, wo es mir bei der Beobachtung der anderen Respirationsmuskeln darauf ankam, mich nebenher vom Stande des Zwerchfells zu überzeugen. Auch bei Demonstrationen ist dieses Verfahren recht zweckmässig, da es Vielen sichtbar und auch auf die bekannte Weise hörbar gemacht werden kann. Eine ähnliche Vorrichtung, welche ich zu Demonstrationen recht empfehlen kann, ist folgende: Man macht in der linea alba nahe dem processus xiphoides einen Schnitt von etwa ½—¾ Zoll Länge, führt durch denselben ein Kautschukbeutelchen ein, in dessen Mündung ein Glasrohr eingebunden ist, und befestigt dieses Rohr in der Wunde, nachdem man das Beutelchen zwischen Zwerchfell und Leber geschoben hat. Man schiebt dann auf das Glasrohr ein Kautschukrohr, füllt durch dasselbe mittelst einer Spritze das Beutelchen mit einer gefärbten Flüssigkeit, und verschliesst das Kautschukrohr mit einem Quetschhahn. Setzt man dann in das Kautschukrohr eine enge Glasröhre ein und öffnet den Quetschhahn, so steigt die Flüssigkeit in der Glasröhre auf und nieder und zeigt so die Bewegungen des Zwerchfells an.

Um nun aber die Frage nach dem Stande des Zwerchfells in jedem einzelnen Falle mit vollkommener Schärfe und ganz unabhängig von dem subjectiven Ermessen des Beobachters zu lösen, liess ich mir einen Apparat fertigen, durch welchen die Bewegungen des Zwerchfells auf eine bewegte Fläche aufgeschrieben werden. Dieser Apparat, welchem ich den Namen „Phrenograph“ beilege, besteht aus einem Hebel, welcher durch das Zwerchfell in Bewegung gesetzt wird und seine Bewegung auf eine Schreibfeder überträgt, und einem endlosen

Papierstreifen, welcher durch ein Uhrwerk in horizontaler Richtung an der Feder vorübergeführt wird.

Fig. 1. Tafel I. zeigt den ganzen Apparat in perspectivischer Ansicht, ohngefähr in ½ der natürlichen Grösse, Fig. 2. Tafel I. ist ein verticaler Durchschnitt senkrecht auf die Papierfläche, gerade durch die Schreibfeder gelegt. Die beigefügten Buchstaben sind bei gleichen Theilen auf beiden Tafeln dieselben.

Der Hebel AA_1, dessen unteres, aus Elfenbein gefertigtes Ende der Krümmung des Zwerchfells nachgebildet ist, hat seinen Drehpunkt in der Axe a, welche in dem Elfenbeinringe B und unter diesem in der Bauchhaut des Thieres auf später zu beschreibende Weise befestigt wird. Dieser Hebel überträgt seine Bewegungen vermittelst der Verbindungsstange V auf den Winkelhebel $C\,C_1C_2$, dessen Axe $b\,b_1$ um Stahlspitzen sich dreht, welche die Säulen d, d_1 durchbohren. Der Hebel $C\,C_1C_2$ trägt bei C_2 eine hier um eine horizontale Axe drehbare Stange f, an welcher die Schreibfeder g befestigt ist. Diese ist von Glas gefertigt und hat die Form einer holländischen Pfeife. In den Pfeifenkopf wird mittelst eines Tuschpinsels chinesische Tusche oder Tinte gebracht, welche sogleich den Stiel erfüllt, ohne aus der capillaren Spitze desselben auszulaufen. Die Stange f ist unten etwas zur Seite gebogen und läuft in einen Haken aus, an welchem ein Faden befestigt ist. Dieser ist um den Wirbel $h\,h_1$ geschlungen, welcher in zwei an den Schienen $i\,i_1$ befestigten Backen drehbar ist. Durch Drehen des Wirbels kann man also die Schreibfeder von dem Papier entfernen, welche sich beim Nachlassen des Fadens durch das Gewicht ihres Kopfes wieder an das Papier anlegt.

Die Säulen d, d_1 sind mittelst der 4 Schienen $i\,i_1$ an dem Rahmen DD_1 befestigt, welcher an den Säulen EE_1 hoch und niedrig gestellt und mittelst der Schrauben K und K_1 in jeder Höhe festgestellt werden kann. Dieser Rahmen trägt ausserdem die Spule F, auf welcher der etwa 36 Fuss lange, 3 Zoll hohe

Papierstreif aufgewickelt ist. Dieser läuft über die in Stahlspitzen drehbare Walze GG_1 und geht dann direct oder auch nachdem er noch um die kleinere, ebenfalls in Stahlspitzen laufende Walze $l l_1$ geschlungen ist, zu der Trommel eines Kymographion, an welcher er mit Klebwachs befestigt wird. Setzt man das Uhrwerk des Kymographion in Bewegung, so wickelt sich der Papierstreif von der Spule F ab und auf die Kymographiontrommel auf und läuft dabei mit gleichmässiger Geschwindigkeit an der Schreibfeder vorbei, welche gerade dort auf dem Papier schreibt, wo dieses fest an der Walze GG_1 anliegt, wodurch eine gleichmässige und gute Zeichnung der Curven erzielt wird. Als gleichmässig kann man die Geschwindigkeit des Papierstreifes betrachten, da der Umfang der Kymographiontrommel durch das sich aufwickelnde Papier sehr langsam wächst. Ich habe mich überdies von der Zulässigkeit dieser Annahme überzeugt, indem ich durch ein Metronom in gleichen Intervallen Zeichen auf dem sich bewegenden Papier anbringen liess, und dann deren Abstände mass. Diese änderten sich auf dem zehn Meter langen Papierstreif nur unmerklich. Auf diese Weise wurde auch die Geschwindigkeit des Papierstreifs gemessen und zu $7\frac{1}{2}$mm in der Secunde bestimmt. Um eine gleichmässige Bewegung und Spannung des Papiers zu erzielen, ist es übrigens nöthig die Reibung der Spule F reguliren zu können. Zu diesem Zweck ist an der oberen Schiene des Rahmen DD_1 eine kleine Feder m angebracht, deren mit Kork gefüttertes Ende durch das Schräubchen n beliebig stark gegen die obere glatt abgedrehte Scheibe der Spule F angedrückt werden kann.

Es versteht sich von selbst, dass man statt des Kymographion irgend ein anderes ähnliches Uhrwerk benutzen, oder auch ein besonderes Uhrwerk dem Apparat zufügen kann. Ich benutzte das Kymographion wegen des Vortheils, welchen der grosse Umfang seiner Trommel, wie eben ausgeführt worden, bietet. Das Instrument, welches durch ein Kegelpendel regulirt wird, und einen ausgezeichnet gleichmässigen Gang hat, war mir von

Herrn Professor TRAUBE gütigst zur Benutzung überlassen worden, wofür ich demselben hier meinen besten Dank ausspreche.

Aus dem Vorhergehenden ist ersichtlich, wie der durch das Zwerchfell in Bewegung gesetzte Hebel $A A_1$. seine Bewegungen auf den Winkelhebel $C C_1 C_2$ und mittelst dessen auf die Schreibfeder überträgt, welche sie auf das Papier aufzeichnet. Es schien aber wünschenswerth auch gleich die Zeit auf dem Papier markiren zu lassen, während welcher eine Reizung eines bestimmten Nerven stattfindet, um so unmittelbar die Veränderungen der Zwerchfellsbewegungen während dieser Reizung zu erkennen. Zu diesem Zwecke ist über der durch das Zwerchfell in Bewegung gesetzten Schreibfeder eine ganz gleiche g_1 aufgehängt, welche sich an das Papier anlegt, sobald die Reizung beginnt, und abhebt, sobald die Reizung aufhört. Es wird demnach während der Dauer der Reizung auf dem Papier über der vom Zwerchfell gezeichneten Curve ein grader Strich gezeichnet. Dies ist folgender Maassen erreicht. Die beiden oberen Schienen $i i_1$ tragen eine Platte von sogenannter schwarzer Masse, jener gut isolirenden aus vulcanisirtem Kautschuk bestehenden Substanz, welche jetzt so vielfach angewandt wird. An der unteren Seite dieser Platte sind zwei Messingklötze o und p befestigt, welche durch die Platte durchbohrende Schrauben mit den auf der Platte liegenden Messingschienen q und r bezüglich in leitender Verbindung stehen. Der Messinghebel $s s_1$, welcher an dem Messingklotz o drehbar befestigt ist, setzt, wenn er erhoben ist, und an dem Klotze p anliegt, beide Metallklötze und dadurch die Schienen q und r in sehr gut leitende Verbindung mit einander. Jede dieser beiden Schienen trägt zwei Klemmschrauben t und t_1, u und u_1; mittelst deren sie mit beliebigen Leitungen in Verbindung gesetzt werden können. Verbindet man nun t und u mit den Enden der secundären Spirale des Magnetelectromotor, t_1 und u_1 mit den beiden Drähten, über welche der Nerv gebrückt ist, und liegt der Hebel $s s_1$ an dem Klotz p an, so bildet er eine so gut leitende Nebenschliessung

zum Nerven, dass keine Spur der Inductionsströme durch denselben gehen kann. Drückt man dagegen den Hebel $s\,s_1$ mittelst seines Elfenbeingriffes nieder, öffnet man den „Schlüssel zum Tetanisiren," wie wir dieses Instrument mit Du Bois-Reymond nennen wollen,[1]) so gehen die Inductionsströme durch den Nerven und derselbe wird erregt. Es ist, beiläufig gesagt, diese Methode der Zuleitung der Inductionsströme zum Nerven wirklich die einzig brauchbare für Vivisectionen, und Budge hat sehr Unrecht, wenn er so verächtlich von ihr spricht,[2]) zumal die Art und Weise, wie er dies thut, nur beweist, wie wenig er sich den Sinn dieser Vorrichtung klar gemacht hat.

Aus der Figur 2, Tafel I. ist nun leicht ersichtlich, wie die Oeffnung und Schliessung des Schlüssels $s\,s_1$ ein Anlegen und Abheben der oberen Schreibfeder bewirkt. Ist der Schlüssel geschlossen, so zieht er mittelst seines über den Klotz o hinausragenden Fortsatzes den Hebel $v\,v_1$ nach sich, dieser drückt an seinem oberen Ende auf die um den Punkt w drehbare Stange $x\,x_1$, an welcher die obere Schreibfeder g_1 befestigt ist, und dadurch wird diese Schreibfeder vom Papier entfernt. Oeffnet man dagegen den Schlüssel, so hört dieser Druck auf, und die Feder wird durch das kleine Laufgewicht y an das Papier angelegt. Durch das Schräubchen z ist man im Stande, dieses Anlegen gerade in dem Moment eintreten zu lassen, wo der Schlüssel $s\,s_1$ den Klotz p verlässt, wo also die Reizung beginnt.

Die Bewegungen des Zwerchfells werden bei ihrer Uebertragung auf die Schreibfeder g vergrössert in einem Verhältniss, welches von der Länge der Hebelarme und den Winkeln, welche

---

[1]) Man sieht leicht, dass dieser Schlüssel nur eine dem bestimmten Zwecke angepasste Abänderung des von Du Bois angegebenen ist, dessen Abbildung in Wiedemann's Lehre vom Galvanismus I. 278 sich findet. Wo in der folgenden Untersuchung Nervenreizungen vorkommen, ohne gleichzeitige Anwendung des Phrenographen, wurde stets Du Bois's Schlüssel zum sicheren Eintretenlassen und Unterbrechen der Reizung angewandt.

[2]) Virch. Arch. XVI. 434.

die Verbindungsstange V mit den Hebeln $A A_1$ und $C C_1 C_2$ macht. Dieser Winkel kann beliebig geändert werden durch Heben und Senken des Rahmens $D D_1$. Da sich diese Winkel aber auch im Laufe jeder einzelnen Bewegung ändern, so ist die Geschwindigkeit der Bewegung der Schreibfeder nicht in jedem Augenblicke genau proportional der Geschwindigkeit des Zwerchfells, oder mit andern Worten: die gezeichneten Curven geben kein ganz getreues Bild des zeitlichen Verlaufs der Zwerchfellsbewegungen. Aber einerseits kommt es uns darauf gar nicht an, andererseits finden die Bewegungen innerhalb so enger Grenzen Statt, dass jene Abweichung nur sehr geringfügig sein kann, so dass jedenfalls allgemeine Schlüsse über die Geschwindigkeit aus der Gestalt der Curven gestattet sind.

Um die Last, welche auf das Zwerchfell in der Richtung nach oben drückt und seine Bewegung hemmen könnte, so gering als möglich zu machen, verlängert sich der Theil $C_1 C_2$ des Winkelhebels $C C_1 C_2$ nach hinten hin in eine Stange, auf welcher ein kleines Laufgewicht y_1 angebracht ist. Die Masse und das Trägheitsmoment der in Bewegung zu setzenden Hebel sammt ihrer Verbindungsstange und der Schreibfeder g ist so gering, dass Eigenschwingungen, welche von der Zwerchfellsbewegung unabhängig wären, gar nicht zu fürchten sind, zumal die Reibungen verhältnissmässig beträchtlich sind und der Hebel $A A_1$, dessen unteres Ende zwischen Leber und Zwerchfell steckt, eben durch die Leber verhindert wird, sich vom Zwerchfell zu entfernen.

Soll der Apparat gebraucht werden, so befestigt man das Thier auf einem feststehenden Tischchen, mittelst Schlingen, welche durch Löcher gezogen sind, deren Anordnung Fig. 4, Taf. I. darstellt. Die Löcher 3 und 4 sind für die oberen, 9 und 10 für die unteren Extremitäten bestimmt, 5, 6, 7 und 8 zur Fixirung des Beckens durch Schlingen, welche in der Schenkelbeuge angelegt werden, 1 und 2 endlich dienen zur Fixirung des Kopfes. Diese geschieht nämlich bei kleineren Thieren ein-

fach durch eine hinter die Schneide-, bezüglich Eckzähne gelegte Schnur, bei grösseren Katzen und Hunden durch einen Knebel, wie im folgenden Paragraphen angegeben werden soll.[1]) Ausser den 10 Löchern sind in das Tischchen noch 2 Längsschlitze zu beiden Seiten des Thieres eingeschnitten, welche zur Aufstellung der Säulen E E_1 dienen, die den ganzen Apparat tragen. Man stellt diese Säulen so, dass ihre Verbindungslinie die Medianebene des Thieres dicht unter dem processus xiphoides senkrecht schneidet. Man macht dann in der Linea alba unterhalb des processus xiphoides einen Schnitt von etwa 1 Zoll Länge und schiebt durch denselben den Hebel AA_1 mitsammt dem ovalen Elfenbeinringe ein, indem man darauf sieht, dass der Hebel an der convexen Seite der Leber zwischen dieser und dem Zwerchfell hinabgleitet, was sehr leicht zu bewerkstelligen ist. Es ist gut, zur Vermeidung schädlicher Reibung das Elfenbeinende des Hebels vorher einzuölen. Dieser Hebel hat seine Axe in dem Messingring a, welcher genau in den Elfenbeinring b passt, wie aus Fig. 3 Taf. I. ersichtlich ist, und mit dem Elfenbeinring durch zwei Stifte c, c_1 fest verbunden werden kann. Diese Einrichtung hat nur den Zweck den Hebel nach dem Gebrauch aus dem Elfenbeinring Behufs der Reinigung entfernen zu können. Der Elfenbeinring b hat unten einen vorspringenden Rand und in demselben jederseits zwei Löcher. Durch diese werden starke gewichste Seidenfäden, auf jeder Seite einer, gezogen, wie es die

---

[1]) Da dieses Tischchen sich mir als ausserordentlich zweckmässig bei allen Vivisectionen an Kaninchen, Katzen und kleinen Hunden bewährt hat, so füge ich hier seine Maasse bei: Länge 57^{cm}, Breite 34^{cm}, Abstand der beiden Löcherreihen 14,5^{cm}. Der Abstand der Löcher 3, 4 von den Löchern 9, 10 beträgt 39,5^{cm}. Dazwischen sind noch jederseits 4 Löcher, um je nach der Grösse des Thieres die passenden auszuwählen. Die um die Extremitäten gelegten Schlingen (von 1^{cm} breitem leinenem Bande) werden durch die Löcher gezogen, unterhalb des Brettes nach der Seite geführt und dort an Haken befestigt, die in dem Brett festgeschroben sind. Diese practische Befestigungsweise rührt von Prof. Traube her.

Figur zeigt, und die Fäden mit ihren vier Enden in vier Nadeln eingefädelt. Ist nun der Hebel sammt dem Ringe in die Bauchhöhle eingesetzt, so sticht man jede Nadel von unten her durch die Ränder der Bauchwunde und zieht an, so dass diese den Ring fest umschliessen und die Bauchdecken auf dem vorspringenden Rande des Ringes aufliegen. Man schiebt dann auf jede der Säulen EE_1 eine der starken Halbschienen H, welche an ihren Enden abgeschwächt und mit Ausschnitten versehen sind, in welche gerade der Elfenbeinring B passt. (S. Fig. 1.) Man fixirt diese Halbschienen so, dass sie den Elfenbeinring fest zwischen sich fassen, durch die Schrauben K_2, K_3 (Fig. 1), legt die Seidenfäden jederseits in zu diesem Zwecke in den Halbschienen angebrachte Schnitte und knüpft sie auf den Schienen zusammen, wodurch die Bauchdecken zwischen dem vorspringenden Rand des Ringes und den Schienen fixirt und dem Ringe selbst, mithin auch der Axe des Hebels AA_1 eine feste Stellung verschafft wird. Zu grösserer Sicherheit verbindet man dann noch die beiden Halbschienen H durch den halbkreisförmigen Bügel J zu einem festen Ganzen mit Hülfe der Schrauben $\alpha\ \beta\ \gamma$.

Ist dies geschehen, so setzt man den Rahmen DD_1 auf die Säulen EE_1 auf, so dass die Spule F mit dem Papiervorrath an der linken Seite des Thieres sich befindet, zieht den Papierstreif an der Walze GG_1 vorbei zur Trommel des Kymographion und überzeugt sich von dem guten Gange des Apparats, um nöthigenfalls die Reibung der Feder m zu verstärken oder zu schwächen. Dann verbindet man den Hebel AA_1 mit der Verbindungsstange V, wodurch der Hebel CC_1C_2 und mit ihm die Feder g in das Spiel des Zwerchfells gezogen werden, füllt die Federn mit Tusche oder Tinte, womit alle Vorbereitungen beendigt sind, und das Zeichnen der Curve beginnt, sobald man die Feder durch Drehen des Wirbels hh_1 an das Papier anlegt. Das Ausfliessen der Tusche geschieht bei genügender Feinheit der Oeffnung so langsam, dass die Curven ganz zart werden.

(Auf Tafel II. sind solche Curven abgebildet. Die oberen Striche, welche die Reizungszeit angeben, sind der Raumersparniss wegen fortgelassen, und diese Zeit an den Curven selbst durch Sternchen und die Buchstaben a und b angezeichnet worden). Ein einmaliges Füllen der Federn reicht auf eine halbe Stunde aus, auch trocknet die Zeichnung so schnell, dass ein Verwischen beim Aufwickeln auf die Kymographiontrommel nicht eintritt. Wichtig ist, dass die Glasfedern vorn am Ausflussende möglichst glatt seien, damit nicht ein Abspringen vom Papier und damit eine Unvollständigkeit der Curve eintreten könne.[1])

Die Anwendung eines endlosen Papierstreifen statt der bisherigen Methode, wo das Schreiben direct auf der rotirenden Trommel geschah, empfiehlt sich einerseits durch die dadurch gewonnene Möglichkeit, den Verlauf der Bewegung längere Zeit hindurch ohne Pause zu studiren, andrerseits durch den Vortheil, die Stelle, wo geschrieben wird, in so unmittelbare Nähe des Thieres zu bringen. Beim Kymographion ist das Manometer immer nothwendig in einiger Entfernung vom Thier und dicht an der rotirenden Trommel. Bei der Untersuchung der Athembewegungen aber, wie sie von Ludwig, und Vierordt und in neuerer Zeit wieder von Boeck in Christiania[2]) mit Hülfe des Kymographion unternommen wurde, war es nothwendig, sehr lange Hebel anzuwenden, welche bei ihrer grösseren Masse

---

[1]) Der beschriebene Apparat ist nach meinen Angaben von Herrn Mechaniker H. Chambeau hier zu meiner vollkommenen Zufriedenheit angefertigt worden. Sein Preis beträgt 28 Thaler. Die Brauchbarkeit desselben ist sehr gross, da man ihn mit geringen Modificationen zum Studium anderer Bewegungen, als des Zwerchfells, benutzen kann, z. B. der Bewegungen der Rippen und des Sternum oder der Bauchwand (auch bei Menschen), des Herzens u. s. w.

[2]) Jagttagelser til Oplysning om Andedraetsbevaegelsernes Forhold. Oeversigt af Kongl. Vetensk. Academiens Forhandl. 1861? (Jahres- und Seitenzahl sind auf dem von Herrn Prof. Du Bois-Reymond mir gütigst zur Verfügung gestellten Abdruck nicht angegeben.)

jedenfalls zu Eigenschwankungen Veranlassung geben. Aus diesen Gründen, glaube ich, ist die von mir gewählte Einrichtung für diese Fälle gewiss vorzuziehen.

Die Zeit, während welcher man ohne Aufenthalt hinter einander experimentiren kann, hängt natürlich von der Länge des benutzten Papierstreifen ab. Sie dauert bei den von mir angewandten gegen sieben Minuten, was gewiss für alle Zwecke ausreicht, besonders da das Aufrollen eines neuen Papierstreifen auf die Spule ziemlich schnell geschehen kann. Die Anwendung sehr viel längerer Papierstreifen würde sich auch nicht empfehlen, da zuletzt doch die Umfangszunahme der Kymographiontrommel einen nicht mehr zu vernachlässigenden Einfluss auf die Geschwindigkeit haben würde. Je dünner das Papier ist, desto besser ist es natürlich in dieser Beziehung. Es ist aber nicht leicht, so lange Papierstreifen von genügender Glätte zu erhalten. Das hier in Berlin käufliche Ellenpapier wenigstens ist viel zu rauh, um die Zeichnung guter Curven zu gestatten. Schliesslich nahm ich Papiertapeten und liess dieselben auf der Drehbank in Streifen von gehöriger Breite zerschneiden. Ihre Länge, wie sie im Handel vorkommen, scheint mir gerade eine angemessene zu sein. Da im vorigen Jahre in London eine Maschine zum Satiniren endlosen Papieres patentirt worden ist, so steht zu erwarten, dass man von dort her ein glatteres und dünneres Papier, als die von mir jetzt benutzten Tapeten, wird erhalten können, was ein grosser Vortheil wäre.

Statt den Papierstreif auf der Kymographiontrommel aufzurollen, könnte man ihn zwischen zwei Walzen durchziehen lassen, wie dies bei den MORSE'schen Telegraphen geschieht. Doch ist eine solche Einrichtung, wenn sie wirklich eine gleichmässige Geschwindigkeit zur Folge haben soll, nicht leicht herzustellen. Will man die Anwendung des endlosen Papierstreifen auch auf das Kymographion übertragen, was gewiss in mancher Beziehung vortheilhaft ist, so würde es sich wol der Mühe verlohnen, eine solche Einrichtung zu versuchen.

Auch würde es dann zweckmässig sein, durch das Uhrwerk selbst in regelmässigen Zeitabständen (etwa alle 15 Secunden) eine Marke auf dem Papiere machen zu lassen. Die Abstände der Marken bieten dann eine sichere Controlle über etwaige Schwankungen der Geschwindigkeit.

FÜNFTES CAPITEL.

Wirkung des Nervus laryngeus superior auf das Zwerchfell.

Die Untersuchung der Wirkung des N. laryng. sup. auf das Zwerchfell gehört zu den schwierigsten Aufgaben der vivisectorischen Physiologie. Die bisherige Literatur, soweit sie mir bekannt geworden, enthält gar keine Angaben über diesen Gegenstand. LONGET[1]) sagt: „Die Durchschneidung der oberen Kehlkopfnerven hat keinen störenden Einfluss auf das Athmen." SKLAREK[2]) fand stets eine, wenn auch geringe, doch deutliche Abnahme der Respirationsfrequenz nach Durchschneidung beider oberer Kehlkopfnerven, auch dann, wenn die unteren vorher durchschnitten waren. Die Schwierigkeit der Untersuchung wird vorzugsweise durch die ungemeine Zartheit und Kürze des Nerven bedingt, in Folge deren einerseits Austrocknen und Verlust der Erregbarkeit innerhalb sehr kurzer Zeit, andererseits der Uebergang von Stromesschleifen auf die benachbarten Theile kaum zu vermeiden ist. Diese letzteren sind aber gerade hier um so

[1]) A. a. O. 234.

[2]) De respirationis frequentia dissectis nervis laryngeis. Dissertat. inaug. Berol. 1858.

schädlicher, als sie zunächst den Stamm des Vagus treffen, dessen Erregung einen so beträchtlichen und, wie wir sehen werden, gerade den entgegengesetzten Einfluss auf das Zwerchfell hat, als die Erregung des Laryngeus superior. Bei Kaninchen ist der Nerv so zart, dass es zuweilen äusserst schwierig ist, überhaupt Erfolge zu erlangen; leichter ist dies bei Hunden und Katzen und besonders bei den letzteren sind die Versuche, wenn vorsichtig angestellt, stets von Erfolg.

Zu den zu treffenden Vorsichtsmassregeln gehört erstlich, dass man den Nerven auf eine möglichst lange Strecke freimacht.

Zu diesem Behuf verfahre ich folgender Maassen: ich lege den Kehlkopf und die gemeinsame Scheide der Carotis und des Vago-Sympathicus blos und lasse dann den Kehlkopf durch einen Haken sanft nach der entgegengesetzten Seite hinüberziehen. Dadurch spannt sich der Laryngeus superior an und wird in seiner ganzen Länge sichtbar. Ich entferne nun ohne den Nerven zu berühren mit einer kleinen Cooper'schen Scheere etwas Bindegewebe zu beiden Seiten des Nerven, so dass dieser in seiner ganzen Länge isolirt ist. Auf ein sorgfältiges Reinpräpariren des Nerven kommt es dabei natürlich nicht an; im Gegentheil bei Kaninchen ist es sogar nothwendig, ihm etwas Bindegewebe als schützende Hülle zu lassen, damit er nicht so schnell vertrockene; die Unterlassung dieses kleinen Kunstgriffes hat mich wenigstens viele vergebliche Versuche gekostet. Sodann führe ich mittelst einer krummen Nadel einen Faden unter den Nerven, unterbinde ihn dicht an der membr. hyothyreoidea und schneide ihn unter dem Unterbande durch. An dem Faden hebend, isolire ich ihn dann noch vollends mit der Scheere bis zu seinem Abgange vom Vagusstamme. Bei erwachsenen Hunden und Katzen sowie bei sehr grossen Kaninchen erhält man auf diese Weise ein genügend langes Nervenstämmchen, um mit demselben experimentiren zu können.

Nun hat man dafür zu sorgen, diesem Stämmchen die zur Reizung dienenden electrischen Ströme so zuzuführen, dass sie

auch auf das Stämmchen isolirt bleiben. Es ist zu diesem Zwecke durchaus unzureichend, den Nerven durch Glas, Guttapercha und sonst dergleichen, von den übrigen thierischen Theilen zu trennen, die Trennung muss durchaus durch eine möglichst grosse Luftschicht geschehen. Denn feste Isolatoren werden an ihrer Oberfläche sogleich leitend durch eine, wenn auch sehr dünne Feuchtigkeitsschicht, die sich durch Capillarität auf ihnen verbreitet. Ja wenn der Nerv auch in seiner ganzen Länge durch Luft isolirt ist, sieht man zuweilen plötzlich Stromschleifen entstehen und entdeckt bei genauerem Zusehen die Ursache derselben vielleicht in einem Haar, welches vom Nerven nach dem Körper des Thieres eine Brücke bildet, und durch die an ihm emporkletternde Feuchtigkeit die Electricität ableitet. Die stromzuführende Vorrichtung, deren ich mich bediene, und die ich sehr zweckmässig gefunden habe, besteht aus zwei dünnen Kupferdrähten, welche durch zwei parallele, mit einander fest verbundene Glasröhren gesteckt sind. Die hervorragenden Enden der Drähte sind auf ein Streifchen dünnen Kautschuks geklebt und können mit diesem in jede, dem augenblicklichen Bedürfniss entsprechende Form gebogen werden. Man befestigt diese Vorrichtung in passender Stellung über dem Halse des Thiers so, dass der Kautschuk das Thier nirgends berührt, legt den Nerven über die Drähte und befestigt ihn mittelst des Fadens, so dass er nicht etwa auf der anderen Seite überhängend mit dem Körper des Thiers in Berührung kommen kann. Um Zerrungen des Nerven zu vermeiden, muss man den Kopf des Thieres gut fixiren, was vortrefflich geht, wenn man dem Thiere einen Stab in's Maul bindet, der jederseits in einen feststehenden MAGNUS-schen Halter eingespannt wird. Der Stab kommt hinter die Eckzähne zu liegen, und hinter demselben wird dann das Maul zugebunden. Die Athmung ist dadurch nicht behindert. Bei Kaninchen genügt es, wenn man ihnen eine Schlinge hinter die Schneidezähne legt, deren Enden durch die hierfür bestimmten Löcher des Vivisections-Tischchens (1 und 2, Fig. 4, Taf. I.) gezogen und

dann befestigt werden. Unter den Nacken des Thieres legt man ein mehrfach gefaltetes Tuch, was zweckmässiger ist, als das von CZERMAK zu diesem Zweck empfohlene Polster. Eine solche Fixirung ist um so nothwendiger, wenn man genöthigt ist, ohne Gehülfen zu experimentiren.

Die Kupferdrähte werden dann mit dem Schlüssel zum Tetanisiren verbunden, welcher gleichzeitig mit den Enden der secundären Spirale in Verbindung steht, so dass man durch Oeffnen und Schliessen des Schlüssels die Reizung beginnen lassen und unterbrechen kann.

Wenn man sich, wie jetzt allgemein üblich, zum Erregen der Nerven der Volta-electrischen Inductionsströme bedient, so ist auch die sorgfältigste Isolation nicht ausreichend, unipolare Stromabgleichungen zu verhüten. Die secundäre Rolle des Magnetelectromotor befindet sich nämlich, da ein solcher Nerv natürlich sehr schlecht leitet, bei unserer Anordnung im Zustand unvollkommener Schliessung, während die eine Electrode eben durch den Nerven mit der grossen leitenden Oberfläche des Thieres zusammenhängt.[1]) Auf diese geht daher jedesmal, wenn ein Inductionsstrom entsteht, ein Theil der freien Spannungselectricität über, und wenn diese unipolare Abgleichung auf ihrem Wege in irgend einem Nerven eine genügende Dichte erlangt, so wird sie ihn erregen und der Erfolg dieser Erregung kann fälschlicher Weise für den gesuchten Erfolg der Erregung des Laryngeus superior genommen werden. Um uns hievor zu hüten, müssen wir folgende Puncte berücksichtigen:

1. Die eben besprochene Gefahr unipolarer Stromabgleichungen ist um so grösser, je stärker die angewandten Inductionsströme sind. Wir werden daher die bei schwächeren Strömen auftretenden Erfolge als die sichereren ansehen, die nur bei stärkeren Strömen dagegen erscheinenden mit der grössesten Vorsicht aufzunehmen haben.

[1]) Vergl. DU BOIS-REYMOND, Untersuchungen I. 432ff.

2. Durch den bei der Schliessung in der primären Rolle entstehenden Extracurrent wird der Schliessungsinductionsstrom der secundären Spirale so verzögert, dass niemals während des Schliessungsinductionsstromes die freie Electricität der Electroden diejenige Spannung erlangt, als während der Oeffnungsinductionsströme In Folge dessen bieten die letzteren in viel höherem Grade die für uns so drohende Gefahr unipolarer Stromabgleichungen. Nun hat aber Helmholtz neuerdings an Du Bois-Reymond's Magnetelectromotor eine Vorrichtung angebracht, durch welche die Oeffnungsinductionsschläge in der in Rede stehenden Beziehung den Schliessungsschlägen gleich werden. Sie besteht darin, das Entstehen des Extracurrent in der primären Rolle auch bei der Oeffnung zu ermöglichen, indem man den primären Kreis gar nicht öffnet, sondern statt dessen eine gut leitende Nebenschliessung zur primären Rolle anbringt. Wir werden uns daher fortan stets des so modificirten Magnetelectromotors zur Erregung der Nerven bedienen.
3. Um aber in jedem Augenblicke sicher zu sein, dass unsere Vorsichtsmassregeln wirklich von Erfolg sind, bedürfen wir eines Mittels, welches uns das Vorhandensein unipolarer Stromabgleichungen mit genügender Empfindlichkeit anzeigt. Ein solches ist der motorische Froschnerv, wenn richtig angewandt. Ich habe schon oben darauf hingewiesen, dass einfaches Anlegen des Nerven des stromprüfenden Schenkels an die thierischen Theile nicht genügt. Besser ist die folgende Anordnung: Man legt den Nerven des stromprüfenden Schenkels über zwei Drähte, welche man wohl von einander isolirt bis zum Versuchsthier hinleitet. Hier setzt man den einen in möglichst geringer Entfernung von der Stelle, wo der zu reizende Nerv (der Laryngeus superior in unserem Falle) mit dem Körper des Thieres zusammenhängt, auf; den andern aber bringt

man irgendwo, etwa an den Füssen, mit dem Thier in leitende Verbindung, indem man den Draht durch zwei kleine Einstiche unter der Oberhaut durchzieht und dann fest um den Fuss umwickelt. Noch sicherer wäre es, wenn man den zweiten Draht in gut leitende Verbindung mit dem Erdboden setzte (durch die Wasserleitungsröhren, wo solche vorhanden sind), da in diesem Falle die Entstehung unipolarer Abgleichung durch den Froschnerven noch ausserordentlich begünstigt wird. Doch ist diese übertriebene Vorsicht unnöthig. Verbreitet sich freie Electricität von der unteren Electrode über das Thier, so wird ein Theil derselben auch durch den Froschnerven gehen, und der Schenkel zucken. Man kann mit dem Muskel einen Allarmapparat verbinden, um sogleich gewarnt zu werden, wenn sich unipolare Stromabgleichungen oder gar Stromesschleifen bilden. Wir werden natürlich nur solche Erfolge für wirklich von der Erregung des Laryngeus superior bewirkte ansehen, wo dies nicht der Fall ist. Da die Bedingungen der Versuche meist dieselben sind, so findet man auch bald die Grenze, unterhalb deren selten oder nie unipolare Abgleichungen sich einstellen. Bei dem von mir benutzten Magnetelectromotor konnte ich bei Anwendung der Helmholtz'schen Modification und eines Daniells als Erreger die Rollen übereinander schieben, ohne dass bei sorgfältiger Isolation des Nerven unipolare Wirkungen eintraten.

4. Erfolge, welche durch Stromschleifen bedingt sind, müssen fortdauern, wenn der Nerv an der unteren Electrode durchschnitten und wieder zusammengeklebt ist. Wir werden daher am Schlusse einer jeden Versuchsreihe einen solchen Controlversuch anstellen und nur die Erfolge als gültig ansehen, wo nach der Durchschneidung jede Wirkung der Reizung ausbleibt.

Der constante Erfolg der Reizung des Laryngeus superior ist nun bei schwächerer Reizung eine Abnahme der

Respirationsfrequenz und bei genügender Stärke der Reizung völlige Erschlaffung des Zwerchfells. Es ist dabei ganz gleichgültig, ob ein oder beide Nerven erregt werden, ob die Thiere narcotisirt sind, oder nicht. Die einzigen Bedingungen sind, dass die Nerven ihre Erregbarkeit nicht eingebüsst haben, und dass keine Stromschleifen durch den Vagusstamm gehen. Der Versuch ist mir sehr oft an Kaninchen, Hunden und Katzen gelungen, doch ist bei den ersten, wie schon bemerkt, Misslingen leicht möglich.

Die Erscheinungen, welche man beobachtet, wenn die Reizung stark genug ist, um Stillstand zu erzeugen, sind folgende: Zuweilen, aber nicht immer, macht das Zwerchfell noch eine Contraction, dann erschlafft es und begiebt sich in die höchste Stellung, welche es sonst nur in der Exspiration erreicht. Seine Wölbung ist sehr stark, seine Bündel zeigen keine Spur von Contraction. An der linken Seite sieht man mit sehr grosser Deutlichkeit die Herzcontractionen durch das Zwerchfell hindurch, welche das Centrum tendineum erschüttern. Ausserdem sieht man, besonders bei Hunden und Katzen, noch passive Bewegungen des Zwerchfells, bedingt durch Bewegungen des Brustkorbes, welcher sich oft stossweise und schnell verengert und erweitert. Bei jeder Verengerung des Thorax geht das Zwerchfell in seinem mittleren Theile ein wenig abwärts, bei jeder Erweiterung des Thorax wieder aufwärts. Der Lumbartheil des Zwerchfells dagegen bleibt völlig unbewegt und ebenso der scharfe Lungenrand. Besonders stark sind diese passiven Zwerchfellsbewegungen bei Hunden und Katzen, während sie bei Kaninchen, welche beim ruhigen Athmen den Thorax gar nicht bewegen, schwach sind und erst auftreten, wenn die Erschlaffung einige Zeit andauert.

Fährt man mit der Reizung fort, so kann man diese Erschlaffung des Zwerchfells viele Secunden andauern sehen. Die Bewegungen des Thorax und damit die passiven Bewegungen werden stärker, endlich erfolgt eine mächtige Contraction des Zwerchfells mit gleichzeitiger Ausdehnung des Brustkastens

und die Athmung geht nun wieder fort, erst langsam und tief, allmählich sich dem vor der Reizung bestandenen Rhythmus anschliessend.

Hört man früher zu reizen auf, so sieht man nach kurzer Zeit eine Zwerchfellscontraction und die Athmung geht nun wieder, wie vorher, bis eine neue Reizung von neuem das Zwerchfell erschlaffen macht. So kann man den Versuch oft hintereinander anstellen, bis das Absterben der Nerven ihm eine Grenze setzt.

Schwächere Reizung eines oder beider Laryngei[1]) hat Verlangsamung der Zwerchfellscontractionen zur Folge, so zwar, dass nicht der Act der Contraction oder Erschlaffung verlängert wird, wenigstens so weit man dies durch unmittelbare Anschauung beurtheilen kann, sondern so dass die Pause zwischen zwei Zwerchfellscontractionen wächst. Es bildet also diese Verlangsamung den unmittelbaren Uebergang zu der völligen Erschlaffung des Zwerchfells, wie sie bei stärkerer Reizung eintritt. Die während der schwachen Reizung eintretenden seltenen Contractionen sind meist tiefer und energischer, als die der Reizung vorhergegangenen, wie denn überhaupt unter allen uns hier beschäftigenden Umständen die Zwerchfellscontractionen um so tiefer sind, je seltener sie eintreten und umgekehrt. Hiermit hängt es auch zusammen, dass nach Durchschneidung beider Vagi sehr schwer eine vollständige lange dauernde Erschlaffung des Zwerchfells durch Erregung der Laryngei zu bewirken ist. Die Contractionen des Zwerchfells sind dann so energisch, dass die Erregung der Laryngei sehr stark sein müsste, um dieselben aufzuheben. Dagegen wird man stets sehen, dass die nach Durchschneidung beider Vagi schon ohnehin so lange Pause zwischen zwei Zwerchfellscontractionen bei Erregung eines

[1]) Um Irrungen zu vermeiden, bitte ich zu beachten, dass im Folgenden, wo nicht Anderes ausdrücklich bemerkt ist, unter „Laryngeus" stets der Laryngeus superior und unter „Vagus" stets der Stamm des Vagus unterhalb des Abgangs des Laryngeus superior gemeint ist.

oder beider Laryngei noch mehr verlängert wird, und zwar kann sie auf mehr als die doppelte Zeit steigen. Die Durchschneidung eines Vagus dagegen hat keinen Einfluss auf den Erfolg der Laryngeuserregung, gleichgültig ob die Reizung auf derselben Seite geschieht, wo der Vagus durchschnitten ist, oder auf der anderen, oder auf beiden. Schliesslich will ich noch bemerken, dass die Erfolge die nämlichen sind, mag das Thier wachen, oder durch irgend ein Mittel in tiefe Narcose versetzt sein.

Obgleich die Durchschneidung beider Laryngei, wie SKLAREK angiebt, und wie ich zu bestätigen Gelegenheit hatte, die Frequenz der Athemzüge vermindert, also denselben Erfolg hat, wie gelinde Erregung dieser Nerven, so kann hierin doch kein directer Widerspruch gesucht werden. Es ist nämlich die Erniedrigung der Athemfrequenz nach Durchschneidung der Laryngei von den in ihnen enthaltenen motorischen Fasern abhängig, während die Wirkung des Laryngeus auf das Zwerchfell ja nur den centripetalleitenden Fasern desselben zukommt. So sehr sich dieses eigentlich von selbst versteht, so habe ich doch nicht versäumt, mich davon durch den Versuch zu überzeugen. Wie LONGET[1]) angiebt und ich bestätigen kann, sind die motorischen Fasern des Laryngeus superior, welche zum musc. cricothyreoideus gehen, in seinem äusseren Ast enthalten. Bei Hunden geschieht die Theilung in die beiden Aeste so früh, dass man bequem ein genügend langes Stück des äusseren Astes freipräpariren kann, um es allein zu reizen. Man erhält dann keine Spur einer Wirkung auf das Zwerchfell, während die Reizung des ganzen Nerven oder des inneren Astes allein sehr leicht Stillstand bewirkt.

Zur Vervollständigung meiner Angaben und als Beispiele will ich hier drei Versuche mittheilen.

---

[1]) LONGET, Anatomie und Physiologie des Nervensystems. Uebersetzt von HEIN. II. 232 ff.

Erster Versuch. Ziemlich grosses schwarzes Kaninchen, auf dem Rücken befestigt. 16 Athmungen in 15 Secunden. Zur Reizung dient der Magnetelectromotor mit 1 DANIELL'schen Element und HELMHOLTZ'scher Einrichtung.

2h 40′. Das Thier wird narcotisirt und bleibt in der Narcose bis gegen das Ende des Versuchs.

Beide Laryngei werden freipräparirt, Bauchhöhle geöffnet: 18 Zwerchfellscontractionen in 15 Secunden.

Beide Laryngei durchschnitten: 11 Athmungen in 15 Secunden.

Der linke Nerv gereizt, Abstand der Rollen 70mm: 6 Athmungen in 15 Secunden.

Beide Laryngei gereizt, Abstand der Rollen 50mm: bei Beginn der Reizung contrahirt sich das Zwerchfell, erschlafft dann und bleibt in Erschlaffung stehen, bis nach 4 Secunden die Reizung unterbrochen wird, wo es seine Bewegungen wieder beginnt.

Derselbe Versuch mit dem nämlichen Erfolge wiederholt.

Nochmals derselbe; die Erschlaffung dauert 7 Secunden, dann folgt, bei fortdauernder Reizung, eine krampfhafte Contraction des Zwerchfells mit gleichzeitiger starker Erweiterung des Brustkastens.

Nach längerer Pause wiederum Reizung beider Nerven bei 50mm Abstand der Rollen. Dieselben Erscheinungen. Während der Erschlaffung passive Bewegungen des Zwerchfells, welche deutlich durch Bewegungen des Thorax bedingt sind.

Reizung beider Nerven bei 20mm Rollenabstand. Dieselben Erscheinungen; die Erschlaffung des Zwerchfells hält 16 Secunden an. — Bei jeder Reizung bleiben die Nasenlöcher dauernd verengt, der Kehlkopf steigt heftig auf und nieder, der Thorax macht kleine, hastige Bewegungen.

3h 45′. Beide Vagi durchschnitten: 3 Athmungen in 15 Secunden. Der linke Laryngeus wird gereizt: Die Pause zwischen zwei Zwerchfellscontractionen dauert 12 Secunden.

Beide Vagi mit starken Strömen (Rollen übereinander geschoben, gewöhnliche Anordnung des Magnetelectromotor) gereizt: das Zwerchfell steht in Contraction still. Ende des Versuchs 4h 5′.

Zweiter Versuch. Mässig grosse schwarze Katze, auf dem Rücken befestigt: 10 Athmungen in 15 Secunden. Das Thier wird durch Einspritzen von 1 Dr. Tinct. opii simplex in die linke Vena jugularis externa in tiefe anhaltende Narcose versetzt, der rechte Laryngeus superior präparirt, die Bauchhöhle geöffnet: 5 Zwerchfellscontractionen in 15 Secunden.

3h 28′. Der Nerv wird durchschnitten, und erregt (80mm Rollenabstand, Magnetelectromotor mit 1 Daniell und Helmholtz'scher Einrichtung); das Zwerchfell erschlafft sogleich vollkommen und zeigt nur schwache passive Bewegungen, welche vom Thorax herrühren.

3h 35′. Wiederholung mit dem nämlichen Erfolg. Die Rolle wird auf 60mm genähert, das Zwerchfell contrahirt sich stark und bleibt contrahirt; es sind Stromschleifen vorhanden, bedingt durch Anliegen eines kleinen Bindegewebsfetzen an dem oberen Leitungsdraht. Nach Entfernung desselben bei 100mm Abstand: vollkommene Erschlaffung des Zwerchfells.

60mm Abstand: ebenso; der Thorax macht heftige und kurze Bewegungen, welche sich dem Zwerchfell mittheilen.

Der Versuch wird noch mehrmals mit gleichem Erfolge wiederholt, sodann Versuche über die Thoraxmuskeln und die Stimmritze gemacht, welche später sollen besprochen werden.

Dritter Versuch. Einem kräftigen, nicht sehr grossen Kaninchen wird die Bauchhöhle geöffnet, sodann der Nervus laryngeus sup. der rechten Seite hart am Larynx durchschnitten und bis zur Carotis freipräparirt. Der N. vagus derselben Seite wird in der Mitte des Halses durchschnitten, sodann der Laryngeus mit schwachen Strömen (1 Daniell, Helmholtz' sche Modification) tetanisirt:

Das Zwerchfell erschlafft, von Zeit zu Zeit tritt eine kurze, abgebrochene Inspirationsbewegung des Thorax ein. Mittelstarke und starke Ströme haben denselben Erfolg. Der Versuch öfter wiederholt, stets mit gleichem Erfolg. — Der linke Vagus wird in der unteren Hälfte des Halses durchschnitten und das centrale Ende freipräparirt. Reizung mit schwachen Strömen giebt Vermehrung der Respirationsfrequenz, Reizung mit mittelstarken Strömen Stillstand des Zwerchfells in contrahirtem Zustande.

Diese Beispiele zeigen, dass Erschlaffung des Zwerchfells die Folge der Reizung des centralen Endes eines oder beider Laryngei superiores sei, während Reizung des Vagus unterhalb des Laryngeus superior in der Regel eine anhaltende Contraction des Zwerchfells zur Folge hat. Auf diesen letzteren Punkt haben wir hier nicht näher einzugehen, da er uns in einem der folgenden Capitel ausführlich beschäftigen wird. Der Versuch ist, wenn der Nerv seine Erregbarkeit nicht eingebüsst hat, und keine Stromschleifen durch den Vagus gehen, so sicher, dass man sich durch das blosse Betrachten des Zwerchfells in den meisten Fällen eine unzweifelhafte Ueberzeugung verschaffen kann. Auch habe ich schon von mehreren Seiten eine Bestätigung zu erhalten das Vergnügen gehabt. Sollte es jemandem schwer fallen, durch blosse Anschauung des Zwerchfells zu einer sicheren Ueberzeugung zu kommen, so wird gewiss eine in das Zwerchfell gesteckte lange Nadel oder die von mir im vorigen Capitel beschriebene Vorrichtung mit dem Gummibeutelchen zum Ziele führen. Ich selbst bediene mich solcher Hülfsmittel, wie schon bemerkt, nur dann, wenn ich bei Beobachtung anderer Apparate mich nebenbei vom Stande des Zwerchfells überzeugen will, oder bei Demonstrationen vor einer grösseren Anzahl von Zuschauern. Ich halte es für unnöthig, Versuche mitzutheilen, welche auf diese Weise angestellt sind, da sie doch nur zu demselben Ergebnisse geführt haben, und uns die folgenden

Capitel noch öfter Gelegenheit bieten werden, derartige Beobachtungen zu constatiren.

Die so durch unmittelbare Betrachtung des Zwerchfells oder mit Hülfe der erwähnten Vorrichtungen gewonnenen Ergebnisse finden ihre volle Bestätigung durch die Versuche mit dem Phrenographen. Fig. 1. Tafel II. giebt die treue Abbildung eines solchen Versuches. Es ist ein Stück der Curve, welche von einem mittelgrossen Kaninchen gewonnen wurde. Bei a beginnt die Reizung des rechten Laryngeus, bei b endet sie. Zur Reizung diente der Magnetelectromotor mit HELMHOLTZ'scher Anordnung und einem Rollenabstand von 120mm. Die Entfernung ab beträgt 47mm, was einer Zeit von 6 4/15 Sekunden entspricht. Man sieht, dass das Zwerchfell sogleich vollkommen erschlaffte und auch nach dem Aufhören der Reizung noch 1½ Secunde lang erschlafft blieb. Dann folgt eine sehr kräftige Zwerchfellscontraction, worauf die Bewegungen wieder allmählich in die vor der Reizung vorhandene Form zurückkehren.

Fig. 2. Tafel II. zeigt ein Stück einer Curve, welche von einem sehr kleinen, jungen Kaninchen gewonnen wurde. Bei a beginnt, bei b endet die Reizung des linken Laryngeus. Zur Reizung diente wiederum der Magnetelectromotor mit HELMHOLTZ'scher Einrichtung und einem Rollenabstand von 120mm. Die Entfernung ab beträgt 118mm, entsprechend einer Zeit von 15 11/15 Secunden. Man sieht, dass nach Beginn der Reizung das Zwerchfell sich noch ein Mal contrahirte, sodann während 3⅓ Secunden erschlafft blieb, dann bei noch fortdauernder Reizung seine Contractionen wieder begann, aber in verlangsamtem Tempo, welches erst allmählich in das vor der Reizung vorhandene überging.

Fig. 3. Tafel II. ist ein Theil einer Curve von einem kleinen Kätzchen. Bei a beginnt, bei b endet die Reizung. Die Entfernung ab ist = 205mm, entsprechend 27⅓ Secunden. Das Zwerchfell erschlafft sogleich bei Beginn der Reizung und bleibt 22½ Secunden erschlafft, macht dann eine heftige lang anhal-

tende Contraction, um allmählich zu seinen früheren Bewegungen zurückzukehren. Die kleinen unregelmässigen Bewegungen des Zwerchfells während der Erschlaffung (d, d, d, ... Fig. 3. Taf. II.) sind passive, durch die fortdauernde Costalrespiration bedingte. Zur Reizung diente der Magnetelectromotor mit HELMHOLTZ'scher Einrichtung und einem Rollenabstand von 80mm.

Ich könnte dergleichen Curven noch viele mittheilen, doch mögen diese drei genügen, als Beispiele für die beiden hauptsächlichsten Erscheinungsformen der Laryngeusreizung. Im ersten Falle haben wir nämlich eine ziemlich lange anhaltende Erschlaffung, welche die Reizung noch einige Zeit überdauert, im zweiten Falle einen nur kurzen Stillstand mit nachfolgender Verlangsamung der Athemfrequenz während der Reizung, der dritte Fall endlich zeigt uns die bei Katzen stets vorkommenden kleinen passiven Bewegungen des Zwerchfells während der Erschlaffung. Dass diese Bewegungen wirklich passive sind, zeigt erstlich ihre Unregelmässigkeit, zweitens der Umstand, dass die Abwärtsbewegung des Zwerchfells nicht mit der Inspirationsbewegung der Rippen, sondern mit deren Abwärtsbewegung zusammenfällt, wovon man sich bei sorgfältiger Beobachtung leicht überzeugen kann. Die Ursache dieser Erscheinung ist schon oben angedeutet worden.

SECHSTES CAPITEL.

Einfluss der Vagusdurchschneidung auf die Athembewegungen.

Die Folgen der Laryngeusreizung auf die Athembewegungen können wir direct untersuchen, ohne uns lange bei den Folgen seiner Durchschneidung aufzuhalten, da diese gar keinen oder doch nur einen geringen verzögernden Einfluss ausübt. Anders ist es beim Vagus. Da die Durchschneidung dieses Nerven schon an sich bedeutende Aenderungen im Mechanismus der Respiration bewirkt, so ist es nöthig, diese erst einer gründlichen Betrachtung zu unterwerfen, bevor wir zu den Erscheinungen übergehen, welche die Vagusreizung zur Folge hat, um schliesslich dann noch dasjenige anzureihen, was die Beobachtung über den Einfluss der Laryngeusreizung auf die übrigen Respirationsmuskeln ausser dem Zwerchfell lehrt.

Die Folgen der Vagusdurchschneidung sind schon so vielfach geschildert worden, dass ich mich dabei kurz fassen kann. Uebereinstimmend wird von allen Forschern die beträchtliche Abnahme der Respirationsfrequenz angegeben. Diese Abnahme tritt jedoch nicht immer sogleich nach der Durchschneidung in voller Stärke auf, sondern zeigt sich zuweilen erst nach Verlauf einiger Zeit und nimmt bis zum Tode noch fortwährend zu. Da die

spätere Abnahme zum Theil wenigstens auf die in Folge der Vagusdurchschneidung auftretenden Structurveränderungen der Lungen geschoben werden könnte, so interessirt uns hier, wo wir den unmittelbaren Einfluss des Vagus auf den Respirationsmechanismus untersuchen, besonders das Verhalten in den ersten Stunden nach der Durchschneidung. Um dies Verhalten zu zeigen, theile ich hier einige Beobachtungsresultate mit:

Erster Versuch. Mittelgrosses, graues Kaninchen, auf dem Rücken befestigt . . . . . 22 Athmgn. in 15 Sec.
Nach Bloslegung des rechten Vagus 33 „ „ 15 „
Nach Durchschneidung desselben . . . 32 „ „ 15 „
Nach Durchschneidung d. linken Vagus 28 „ „ 15 „
Losgebunden, ruhig auf dem Tisch sitzend, nach 1½ Stunden . . . 9 „ „ 15 „

Zweiter Versuch. Kleines, graues, weibliches Kaninchen, auf dem Rücken befestigt . . . . . 31 Athmgn. in 30 Sec.
Nach Anlegung einer Trachealfistel u. Durchschneidung beider Vagi. . 11 „ „ 30 „

Dritter Versuch. Ziemlich grosses, schwarzes Kaninchen, auf dem Rücken befestigt . . . . . 16 Athmgn. in 15 Sec.
Nach Durchschneidung beider Laryngei superiores . . . . . 11 „ „ 15 „
Nachdem die Laryngei mehrmals gereizt worden, werden beide Vagi durchschnitten . . . . . 3 „ „ 15 „
und kurze Zeit nachher . . . . . 5 „ „ 30 „

Vierter Versuch. Kleines, graues Kaninchen, auf dem Rücken befestigt . . . . . 27 Athmgn. in 30 Sec.
Beide Vagi werden durchschnitten; ½ Minute darauf . . . . . 10 „ „ 30 „

Fünfter Versuch. Mittelgrosses, schwarzes Kaninchen, auf dem Rücken befestigt . . . . . 14 Athmgn. in 15 Sec.
Nach Bloslegung beider Vagi . . . . . 13 „ „ 15 „
Nach Durchschneidung derselben . . . 10 „ „ 15 „

Sechster Versuch. Mittelgrosses, kräftiges Kaninchen, auf dem Rücken befestigt: Vor und nach Durchschneidung beider Vagi . . . . . 28 Athmgn. in 15 Sec.
Losgebunden nach einiger Zeit . . . 10 „ „ 15 „

Im Widerspruch mit diesen Beobachtungen, wonach die Verminderung der Athemfrequenz unmittelbar nach der Durchschneidung der Vagi nicht in allen Fällen sogleich ihr Maximum erreicht, steht eine Behauptung Budge's, wonach die Zahl der Athemzüge gleich nach der Operation geringer ist, als später.[1]) Dass dies in vielen Fällen richtig ist, muss zugegeben werden, und die Literatur bietet Beispiele genug dafür dar.[2]) Doch schien es mir nöthig, darauf aufmerksam zu machen, dass auch zuweilen das Entgegengesetzte beobachtet wird, da ich mich nicht entsinne, dies irgendwo angemerkt gefunden zu haben.

Die unmittelbare Wirkung der Vagusdurchschneidung ist die Lähmung der vom Laryngeus inferior versorgten Kehlkopfmuskeln und in Folge dessen eine Verengerung der Stimmritze. Dass diese Verengerung der Stimmritze nicht die Ursache der bedeutenden Abnahme der Respirationsfrequenz sei, hat schon Traube ausführlich dargethan.[3]) In der That geht dies ganz unzweifelhaft aus dem Umstande hervor, dass

1. die nach Durchschneidung beider Laryngei inferiores gesunkene Respirationsfrequenz nach Durchschneidung beider Vagi noch viel mehr sinkt;
2. dass die Anlegung einer Trachealfistel weder das Sinken der Respirationsfrequenz nach Vagusdurchschneidung zu verhindern, noch die schon gesunkene um ein merkliches zu heben vermag.

Mit vollem Recht konnte daher Traube den Ausspruch thun, dass „die Ursache der so bedeutenden Verminderung

[1]) Virch. Arch. XVI. 457.

[2]) Man vergleiche besonders die Zählungen Traube's in seinen Beiträgen Heft I. 85 ff. und Wundt's in Müll. Arch. 1855. 276 ff.

[3]) Beiträge I. 101 ff.

der Athemzüge nach Durchschneidung der Vagi reell noch nicht gefunden" sei. Wir wollen später den Versuch machen, uns von dieser Ursache eine Vorstellung zu bilden.

Auf eine sehr merkwürdige Weise hat neuerdings wieder Budge die Verengerung der Stimmritze in Beziehung gesetzt zu der nach Durchschneidung der Vagi verringerten Athemfrequenz. Er glaubt nämlich die bedeutende Abnahme der Frequenz unmittelbar nach der Durchschneidung ableiten zu müssen von einem krampfhaften Verschluss der Stimmritze in Folge der Durchschneidung der Nerven. Von der Reizbarkeit der Thiere soll es daher abhängen, wie weit dieser Verschluss geht, ja, sagt er, „bei jungen, sehr reizbaren Thieren kann dies so stark werden, dass sie durch Erstickung in wenigen Minuten sterben." (!!) Die Vorstellung, dass in Folge eines einfachen Scheerenschnitts durch den Nerven ein Minuten lang anhaltender Krampf der Kehlkopfmuskeln entstehen solle, ist doch gar zu abenteuerlich. Und nun gar erst die Erklärung der Erstickung junger Thiere nach Vaguslähmung! Seit Legallois's berühmten Versuchen haben sämmtliche Forscher diese übereinstimmend als Folge einer Lähmung der Stimmritze betrachtet. Weiss Budge dies nicht, oder hat er sich durch Versuche von der Unrichtigkeit jener Ansicht überzeugt? Aber dann hätte er diese Versuche mittheilen sollen, damit man ich ein Urtheil über ihren Werth bilden könne.

Die Durchschneidung nur eines Vagus hat keinen bemerkbaren Einfluss auf die Athemfrequenz. Vorübergehend sieht man allerdings zuweilen, aber nicht immer, eine Abnahme derselben. Budge findet die Ursache dieser Abnahme ebenfalls in einem durch den Schnitt bewirkten Krampf der betreffenden Kehlkopfmuskeln und dadurch bedingter Verengerung der Stimmritze. Ein Nachweis dieses Krampfes fehlt aber auch hier. Auffallend bleibt nur, wie es nach Budge's Vorstellung möglich sein soll, dass dieser Krampf eine Verengerung der Stimmritze bewirkt, da doch nach seiner Angabe die erschlaffte Stimmritze

ebenfalls enger ist, als diejenige, deren Muskeln noch wirksam sind. Wir wollen uns jedoch nicht weiter bemühen, in diese Dunkelheiten einzudringen, besonders da wir später noch ausführlich auf das Verhalten der Stimmritze werden eingehen müssen.

Aber nicht nur die Anzahl der Athemzüge ist nach Durchschneidung der Vagi verringert, auch der Mechanismus des Athmens selbst ist bedeutend verändert. Zunächst ist die Tiefe der einzelnen Athemzüge beträchtlich grösser als in der Norm. Dies lehrt schon der blosse Anblick und Messungen, wie sie WUNDT ausgeführt hat, bestätigen es. WUNDT brachte ein Manometer seitlich mit der Trachea in Verbindung und mass die Intensität des Inspirationszuges. Er fand ihn alsbald nach der Durchschneidung um das Fünffache gegen die Norm gesteigert, später wieder abnehmend und gegen den Tod hin bedeutend unter die Norm gesunken[1]). Das letztere ist zum Theil jedenfalls Folge der pathologischen Veränderungen, welche die Lunge nach Durchschneidung der Vagi erleidet, und welche die Respirationsfläche verkleinern. Denn die Stärke der Muskelwirkung bei der Athmung ist, wie schon der blosse Augenschein lehrt, bis nahe zum Tode fortwährend eine sehr bedeutende. Diese Steigerung der Respirationsintensität beruht bei Kaninchen einerseits auf einer vermehrten Thätigkeit des Zwerchfells, andererseits auf dem, Hinzutritt anderer, accessorischer, Muskeln, welche bei der normalen Respiration ganz unthätig sind. Die stärkere Thätigkeit des Zwerchfells bewirkt bei jeder Inspiration eine starke kugelige Aufwölbung des Abdomen; der Thorax, welcher bei der normalen Respiration des Kaninchens ganz unbewegt bleibt, wird stark erweitert, bei anderen Thieren jedenfalls stärker als in der Norm; er verharrt einige Zeit im Zustande der Contraction und sinkt dann plötzlich mit grosser Schnelligkeit zusammen, so dass die Luft mit grosser Heftigkeit entweicht

[1]) MÜLL. Arch. 1855. 277 ff.

und entweder in der angelegten Fistel ein zischendes oder im Kehlkopf ein eigenthümliches klappendes Geräusch erzeugt, welches dem Auseinanderweichen und Wiederzusammenfallen der gelähmten Stimmbänder zugeschrieben werden muss.

Einige Zeit nach der Durchschneidung gesellt sich hierzu noch bei jeder Inspiration ein lautes Rasselgeräusch, welches im Kehlkopf und der Trachea durch die dort angesammelten Flüssigkeiten entsteht. Während dieser heftigen Erweiterungen des Thorax wird der Hals des Thieres gestreckt, der Kopf erhoben, Maul und Nasenlöcher weit aufgesperrt und zwar auch dann, wenn eine Kanüle in der Trachea befestigt ist, so dass gar keine Luft durch Mund und Nase aufgenommen werden kann. Auf das plötzliche Zusammensinken des Thorax folgt eine Pause, deren auffallende Länge ganz characteristisch für die Vagusdurchschneidung ist; in vielen Fällen und zwar besonders in den späteren Zeiten nach der Durchschneidung folgt dann erst eine active Exspiration mit Contraction der Bauchmuskeln und der Exspiratoren des Thorax, welche unmittelbar und ohne dazwischen fallende Pause in die folgende Inspiration übergeht. Der Kehlkopf wird bei jeder Inspiration stark nach abwärts gezogen und steigt während der Erschlaffung wieder schnell in die Höhe. Dies ist eine Folge der Contraction der mm. sternohyoidei und sternothyreoidei.

Nicht in allen Fällen ist diese Steigerung der Athmungsintensität gleich gross, ebenso wie die Abnahme der Athmungsfrequenz bald mehr, bald weniger in die Augen springend ist. Im Allgemeinen lässt sich so viel sagen, dass diese beiden Folgen der Vagusdurchschneidung stets mit einander Hand in Hand gehen, so dass, wenn die Zahl der Athemzüge bedeutend verringert wird, auch ihre Tiefe beträchtlich gesteigert erscheint, und umgekehrt. Schwerer ist es, eine Beziehung aufzufinden zwischen dem jeweiligen Verhalten der Respiration im normalen Zustande und dem Verhalten derselben nach der Durchschneidung der Vagi. Je interessanter eine solche Beziehung, wenn

sie nachgewiesen werden könnte, sein möchte, umsomehr muss ich bedauern, dass mir dies nicht in unzweifelhafter Weise gelungen ist. Nur so viel möchte ich behaupten, dass wenn schon vor der Durchschneidung der Vagi die Athmung sehr stark war, die Zunahme derselben nach der Durchschneidung und demgemäss auch die Abnahme der Athmungsfrequenz verhältnissmässig stärker ausfiel. Es scheint dies darauf zu deuten, dass die Ursachen, welche im normalen Zustande eine Vermehrung der Respirationsfrequenz bewirken, auch nach Durchschneidung der Nerven, wenngleich in geringerem Grade, doch fortzuwirken vermögen.

Interessant ist es, die Anzahl der in Thätigkeit gerathenden Muskeln nach der Vagusdurchschneidung zu kennen, da diese den besten Maassstab für die gesteigerte Intensität der Athmung geben. Bei Kaninchen betheiligen sich die Muskeln des Thorax bei der normalen Respiration nie. Nach der Durchschneidung beider Vagi gerathen die Intercostales externi und Intercartilaginei sowie die Levatores costarum breves fast ausnahmslos, die Scaleni zuweilen bei der Inspiration in rhythmische Contraction. Andere Muskeln als diese habe ich niemals bei der Inspiration sich betheiligen sehen, es sei denn, dass ausser der Vagusdurchschneidung noch andere, die Respiration steigernde Momente mitgewirkt hätten. Bei der Exspiration gerathen neben den Mm. obliquis abdominis externis auch die Mm. obliqui interni und der M. transversus abdominis in rhythmische Zusammenziehung, der letztere jedoch nicht in allen Fällen. Die Intercostales interni (welche ich von den Intercartilaginei trenne) habe ich niemals sich contrahiren sehen, und ich muss sagen, dass ich nicht recht weiss, was für eine Function ich diesen Muskeln zuschreiben soll, wenn ich auch aus den bekannten Gründen geneigt bin, sie für Exspiratoren zu halten. — Bei Hunden und Katzen ist das Verhalten im Wesentlichen dasselbe, nur sind hier die Muskelzusammenziehungen energischer, und es betheiligt sich zuweilen auch der M. serratus posticus an der

Inspiration nach Vagusdurchschneidung. Die Exspiration, welche bei diesen Thieren in der Norm bekanntlich ganz passiv ist, wird nach Durchschneidung der Vagi stets eine active durch Betheiligung der Bauchmuskeln.

Die Bewegungen des Kehlkopfs sind bei Kaninchen im normalen Athmen zwar nicht immer zu constatiren, aber doch in den meisten Fällen. Nach Durchschneidung der Vagi fehlen sie niemals. Ebensowenig bei Hunden und Katzen, wo sie schon bei der ruhigen Athmung stets deutlich sind.

Diese kurze Schilderung der Erscheinungen des Athmens nach Vagusdurchschneidung wird genügen, da sie mit der fast aller Autoren übereinstimmt. Auf das eigenthümliche Verhalten der activen Exspiration mache ich noch besonders aufmerksam, da sie meist übersehen worden ist. TRAUBE allein macht gelegentlich auf dieselbe aufmerksam.[1]) Durch ihn veranlasst, habe ich sie bei darauf gerichteter Beobachtung sehr oft constatiren können. Sie tritt besonders auffallend hervor bei Thieren, denen vorher das Grosshirn exstirpirt worden ist, und wurde vielleicht gerade deshalb so oft übersehen, weil jene Operation selten beim Studium der Athembewegungen zu Hülfe gezogen wurde. Da aber gerade durch sie störende Nebeneinflüsse, wie Willkür, Schreck u. s. w. am besten beseitigt werden, so glaube ich auch die an solchen Thieren gemachten Beobachtungen als die reinsten ansehen zu müssen, wo es sich um das Studium des Athemmechanismus unter verschiedenen Umständen handelt. Ich muss auf diesen Umstand ein um so grösseres Gewicht legen, als ich mich hier mit WUNDT und BUDGE in entschiedenem Widerspruch befinde.

Nach diesen wird durch die Vagusdurchschneidung „die Inspiration übermässig vorwiegend.[2])“ Es ist mir nicht ganz klar geworden, wie dies zu verstehen ist. Soll es heissen, dass

[1]) Beiträge II. 144.

[2]) BUDGE, VIRCH. Arch. XVI. 455 f. — WUNDT, MÜLL. Arch. 1855. 308.

die Inspiration im Vergleich zur Norm einen sehr grossen Zeitraum einnehme? Das wäre nicht ganz richtig, da zwar die Dauer der Inspiration absolut sehr verlängert ist, aber im Verhältniss zur ganzen Respirationsdauer eher abgenommen hat, in Folge der ungemeinen Verlängerung, welche die Pause erfährt. Auf diese folgt dann die freilich äusserst kurze active Exspiration, deren Kürze aber gerade durch die energische Muskelwirkung bedingt ist. Die lange Dauer der Inspiration wird besonders dadurch bewirkt, dass am Ende der Zwerchfellscontraction die Erweiterung des Thorax durch Hebung der Rippen hinzutritt. Dies kann sogar so weit gehen, dass das Zwerchfell schon wieder erschlafft, während der Thorax noch in Erweiterung begriffen ist, und so ein förmliches Zerlegen der Inspiration in zwei Momente zu Stande kommt, ähnlich wie die Systole der Ventrikel auf die der Vorkammern folgt. Ich habe diese Erscheinung am auffallendsten bei einem sehr grossen Kaninchen gesehen, welchem mehrere Stunden nach der Vagusdurchschneidung und Anlegung einer Trachealfistel das Grosshirn exstirpirt wurde. Hier folgten die Hervortreibung des Abdomen durch das sich zusammenziehende Zwerchfell und die Erweiterung des Thorax so regelmässig auf einander, dass sie mit der darauf folgenden Pause ganz das Bild eines sehr langsam schlagenden Herzen nachahmten. Aber diese lange Dauer der Inspiration hat Budge gar nicht im Sinne, denn er beruft sich auf Wundt's Messungen über die Intensität der Inspiration. Was heisst also, die Inspiration wird „übermässig vorwiegend." Im normalen Zustande ist die Exspiration fast ganz elastischen Kräften überlassen, Muskelwirkungen bei der Exspiration sind fast gar nicht zu beobachten, denn die exspiratorische Wirkung der Intercostales interni ist zweifelhaft. Nur beim Kaninchen contrahirt sich der Obliquus abdominis externus regelmässig bei jeder Exspiration, wie Traube zuerst angemerkt hat und ich bestätigen kann. Wenn nun durch irgend einen Umstand die Intensität der Inspiration wächst, so muss dem entsprechend

auch die Intensität der Exspiration in demselben Verhältniss wachsen, da die stärker aus ihrer Gleichgewichtslage gebrachten elastischen Theile auch mit grösserer Kraft in dieselbe zurückkehren. Ein „übermässiges Vorwiegen" der Inspiration kann also auf diesem Wege nicht zu Stande kommen. BUDGE drückt sich aber an einer andern Stelle deutlicher aus, wo er sagt, die Exspiration würde nach Durchschneidung der Vagi „rein passiv" und WUNDT giebt an, dass die Exspiration „kaum wahrgenommen werden kann." Leider haben beide nur versäumt, hinzuzufügen, wie die „active" Exspiration vorher beschaffen war, d. h. durch welche Muskeln sie bewirkt wurde, und dann vermisst man die bei einem so wichtigen Gegenstande gewiss nicht überflüssige Angabe, wie und durch welche Mittel sie zu der Ueberzeugung gekommen seien, dass diese Muskeln nach Durchschneidung der Vagi ihre Thätigkeit plötzlich eingestellt hätten. Diesen Nachweis, sage ich, vermisst man, und BUDGE wird es daher wol verzeihlich finden, wenn ich seinen Ausspruch, dass „die im N. vagus enthaltenen sensibelen Fasern das Vermögen haben, diejenigen motorischen Fasern anzuregen, welche die Exspirationsbewegungen beherrschen," nicht so ganz ohne Weiteres unterschreibe. Wie wenig BUDGE's Reizungsversuche im Stande sind, für diese Theorie einzunehmen, werden wir noch sattsam zu sehen Gelegenheit haben.

Ohne uns auf Speculationen einzulassen, bleiben wir daher vorläufig bei der Thatsache stehen, dass nach Durchschneidung der Vagi neben der Abnahme der Athemfrequenz zugleich eine Zunahme in der Intensität jedes einzelnen Athemzuges beobachtet wird und zwar sowohl bei der Inspiration, wie bei der Exspiration; eine Intensitätszunahme, welche sowohl durch stärkere Wirkung der auch in der Norm thätigen, als auch durch Hinzutreten accessorischer Athemmuskeln bewirkt wird. Zur Erläuterung dieser Angaben mögen einige Beispiele hier Platz finden.

Erster Versuch. Mittelgrosses, kräftiges Kaninchen, auf dem Rücken befestigt, vor und nach Vagusdurchschneidung 28 flache Respirationen in 15 Secunden. Nach einiger Zeit, während deren das Thier losgebunden ruhig auf dem Tisch gesessen hat, macht es 10 tiefe Respirationen in 15 Secunden. Die Contraction des Zwerchfells ist sehr tief und lange anhaltend; starke Erweiterung des Thorax, Emporstrecken des Kopfes, starke Erweiterung der Nasenflügel. Bei der Exspiration starke Verengerung des Thorax, wobei die Rippen stark nach abwärts gezogen werden, und die Intercostalräume sich verengern. Contraction der Bauchmuskeln kann durch die Haut hindurch nicht sicher constatirt werden. Am folgenden Tage (24 Stunden nach der Durchschneidung) 8 äusserst tiefe Respirationen in 15 Secunden. Sehr tiefe, langsame Contraction des Zwerchfells mit langem Verharren im Contractionszustande, starke Erweiterung der Nasenlöcher und des Thorax. Bei der Exspiration starke Verengerung des Thorax, fast völliger Verschluss der Nasenlöcher, deutlich fühlbare starke Contraction der Bauchmuskeln. Bei jeder Inspiration lautes schnarrendes Geräusch im Kehlkopf. — Tod 30 Stunden nach der Durchschneidung.

Zweiter Versuch. Kleines, graues Kaninchen, auf dem Rücken befestigt, 31 Athmungen in 30 Secunden. Kehlkopf und beide Vagi blosgelegt. Bei jeder Inspiration erfolgt Contraction der Mm. sternohyoidei und sternothyreoidei und des cricothyreoideus. Tracheotomie, Brust und Bauch entblösst. Man sieht deutliche Contractionen des M. obliquus abdom. ext. bei jeder Exspiration. Links wird der M. pector. maj. abgetragen. Man sieht bei jeder Inspiration eine schwache Auf- und Auswärtsbewegung der achten und neunten Rippe. Beide Vagi durchschnitten: darauf starke Hebung sämmtlicher Rippen, Contraction der Intercostales externi und des Scalenus. Sehr verstärkte Contraction des Obliquus abdomin. extern. bei der Exspiration.

Dritter Versuch. Kleines graues Kaninchen, auf dem Rücken befestigt, 31 Athmungen in 30 Secunden. Kehlkopf, Brust und Oberbauchgegend blosgelegt. Die unteren Rippen werden bei jeder Inspiration nach Aussen geführt. Entfernung des rechten Pectoralis major, danach Hebung sämmtlicher Rippen mit Ausnahme der ersten, Einwärtsziehung des Processus xiphoides und Abwärtsbewegung des Kehlkopfes bei jeder Inspiration. Schwache Contraction des in der Linea alba abgelösten Obliqu. abdom. ext. bei jeder Exspiration. Der Scalenus ist unthätig. Nach Durchschneidung beider Vagi: starke Hebung sämmtlicher Rippen, Vorwärtsbewegung des Sternum, mächtige Contraction des Zwerchfells bei Inspiration, starke Contraction des Obliquus bei Exspiration; Scalenus bleibt unthätig.

Vierter Versuch. Mittelgrosser Hund, auf dem Rücken befestigt, 6 Athmungen in 15 Secunden. Schwache Hebung sämmtlicher Rippen bei der Inspiration, keine Contraction der Bauchmuskeln bei der Exspiration. Nach Durchschneidung beider Vagi: starke Hebung sämmtlicher Rippen bei der Inspiration, starke Verengerung des Thorax und kräftige Contraction der Bauchmuskeln bei der Exspiration.

Die Veränderungen in dem Modus der Zwerchfellsbewegungen nach Vagusdurchschneidung lassen sich sehr schön mit Hülfe des Phrenographen studiren. Ich theile hier zwei Beispiele mit: Fig. 4. Taf. II. ist ein Theil einer Curve von einem sehr kleinen Kaninchen, an welchem vorher beide Laryngei superiores und der linke Vagus durchschnitten und mehrmals waren gereizt worden. Unmittelbar vor der Zeichnung des hier abgebildeten Stückes war der rechte Vagus präparirt worden. Bei dem Zeichen # wurde er durchschnitten. Man sieht unmittelbar darauf die vorher noch ganz normale Form der Zwerchfellsbewegungen in die übergehen, welche für Durchschneidung beider Vagi characteristisch ist. Die Contractionen werden intensiver, die Pausen werden ungemein verlängert. In dieser

wie in der folgenden Curve (Fig. 5. Tafel II.) sieht man, wie das Zwerchfell sich zuerst mit sehr grosser, dann mit abnehmender Geschwindigkeit zusammenzieht und einige Zeit in Contraction verharrt. Auf der Höhe der Inspiration sieht man fast regelmässig eine plötzliche Ausbiegung der Curve nach oben, am Schlusse der Exspirationspause eine ähnliche Ausbiegung nach unten. Diese für Vagusdurchschneidung characteristischen Merkmale der Zwerchfellscurven sind nach meinem Dafürhalten als passive Bewegungen des Zwerchfells aufzufassen. Auf der Höhe der Inspiration nämlich, wenn das Zwerchfell schon im Maximo contrahirt ist, bleibt es noch immer ein wenig nach oben gewölbt. Indem nun der Thorax durch die Wirkung seiner Muskeln stark erweitert wird, entfernen sich die Ansatzpunkte des Zwerchfells von einander, dasselbe wird noch mehr gespannt und das Centrum tendineum muss sich nothwendiger Weise nach abwärts bewegen. Dass diese Erklärung richtig sei, davon überzeugt man sich bei Beobachtung des Thieres, wo man sieht, dass die stärkste Erweiterung des Thorax stets mit dem Ende der Zwerchfellscontraction zusammenfällt, und dass dabei die unteren Rippen stark nach aussen bewegt werden. Diese Ausbiegung nach oben kann daher auch bei noch erhaltenen Vagis vorkommen, wenn nach Setzung eines Respirationshindernisses eine starke Erweiterung des Thorax am Ende der Inspiration eintritt. Sie zeigt sich aber nach Durchschneidung beider Vagi so ausserordentlich deutlich, weil hierbei das Zwerchfell sehr lange in contrahirtem Zustande verharrt und die grösste Erweiterung des Thorax gerade in diesen Zeitraum der stärksten Zwerchfellscontraction fällt. Dagegen habe ich die andere Ausbiegung der Zwerchfellscurve, die nach unten am Schlusse der Pause, nur nach Durchschneidung beider Vagi gesehen. Ich glaube für dieselbe eine ganz ähnliche Erklärung geben zu müssen, als für die erstere. Schon oben habe ich angeführt, dass in diesem Zeitraume fast immer besonders in der späteren Zeit nach der Durchschneidung eine active Exspiration zu beob-

achten ist, bei welcher die unteren Rippen durch die Contraction der Bauchmuskeln stark nach abwärts gezogen werden, und welche unmittelbar in die nachfolgende Inspiration übergeht. Durch diese exspiratorische Bewegung muss aber nothwendiger Weise das Zwerchfell einerseits nach oben gedrängt werden, andererseits nähern sich seine Ansatzpunkte, die elastischen Lungen ziehen sich sogleich ein wenig zusammen und das Zwerchfell folgt ihnen nach oben. Dieses Alles wirkt zusammen, um den Volumwechsel der Lungen möglichst ausgiebig zu machen.

Dieses Verhalten der Athembewegungen nach Durchschneidung beider Vagi ist im höchsten Grade auffallend. Wir sehen an den Thieren alle Zeichen der höchsten Dyspnoe; verstärkte Zusammenziehungen des Zwerchfells, Hinzutritt der Thätigkeit accessorischer Athemmuskeln, ausserordentlich starke concomitirende Athembewegungen, das Thier streckt, wie in höchster Athemnoth, bei jeder Inspiration den Kopf weit nach vorn und oben und sperrt das Maul weit auf, selbst wenn es durch dieses gar keine Luft aufzunehmen vermag, bei in der Luftröhre befestigter Canüle. Nur ein Zeichen der Dyspnoe fehlt, ein sonst bei Respirationshindernissen sehr constant vorkommendes, die Vermehrung der Respirationsfrequenz. Statt dessen sehen wir gerade das Gegentheil, eine meist sehr beträchtliche Abnahme.

Dieser eine Umstand genügt, uns darauf hinzuweisen, dass wir es hier mit etwss ganz Anderem zu thun haben, als mit den dyspnoëtischen Zuständen, welche nach den Andeutungen, die wir hierüber im ersten Capitel gegeben haben, aufzufassen sind als eine vermehrte Action der Medulla oblongata in Folge stärkerer Reizung durch das in seinem Gasgehalt veränderte Blut. Wir haben es hier, wie es scheint, mit einer directeren Einwirkung der Nn. vagi auf die medulla oblongata zu thun. Denn es scheint undenkbar, dass der Gasgehalt des Blutes primär durch die Vagustrennung geändert wer-

den könne, und dass, wenn selbst eine solche Annahme als zulässig erachtet werden sollte, dieser veränderte Gasgehalt in so ganz anderer Weise, als sonst in Fällen von Athemhindernissen, auf das respiratorische Nervencentrum einwirken sollte. Bevor wir nun in dieser Beziehung uns auf weitere Schlüsse einlassen, wird es nöthig sein, eine Vorfrage zu erledigen, nämlich die, wie sich eigentlich die Thätigkeit der Medulla oblongata vor und nach Vagusdurchschneidung zu einander verhalten. Denn es ist klar, dass bei der eigenthümlichen Veränderung der Athembewegungen es vor der Hand noch ganz unbekannt ist, ob die Summe der in der Zeiteinheit entwickelten Thätigkeit vermehrt oder vermindert oder gar nicht geändert ist.

Zu diesem Behuf müssten wir, da uns die Thätigkeit der Medulla oblongata ja nur in ihren Effecten, den Athembewegungen, sichtbar wird, uns nach einem Mittel umsehen, die Grösse der bei jedem Athemzuge entwickelten Muskelkraft zu bestimmen. Das Product dieser Kraft in die Anzahl der Athemzüge wäre ein Maass für die Thätigkeit des respiratorischen Nervencentrum. Aber diese Bestimmung wird um so schwieriger, ja ganz unmöglich, als nach der Vagusdurchschneidung nicht blos die Thätigkeit schon vorher in Action gewesener Muskeln wächst, sondern auch eine Reihe anderer hinzutritt. Die von diesen aufgewandte Kraft zu bestimmen, ist ganz unmöglich, besonders da es sich darum handelt dies schnell zu thun, und die Muskeln nicht zu beschädigen, damit Vergleiche vor und nach der Vagustrennung möglich werden. Bei dieser Sachlage müssen wir uns nach einem Ersatz umsehen, und dieser könnte zunächst in einer Messung der Bewegungen gesucht werden, welche die Thoraxwände unter dem Einfluss der Muskeln machen. Für das Zwerchfell wäre hierzu der im vierten Capitel beschriebene Phrenograph, für die starre Brustwand der Sibson'sche Thoracometer oder sonst ein derartiges Instrument in Aussicht zu nehmen, welches ja auch der Bequemlichkeit wegen zum Aufzeich-

nen seiner Bewegungen auf eine bewegte Fläche eingerichtet werden könnte. Aber selbst die gleichzeitige Anwendung beider Instrumente würde doch nur ein sehr unvollkommenes Bild von den eigentlich wirkenden Kräften geben. Andererseits könnte man die Kraft, mit welcher die Respiration geschieht, messen wollen durch ein in der Trachea befestigtes Manometer. Aber auch dies hat seine Uebelstände. Misst man, was eigentlich das Richtigste ist, den vollen Respirationsdruck, indem man das Manometer endständig in die Trachea einfügt, so wird dadurch die freie Luftaufnahme gehindert und ein neuer Umstand eingeführt, der an sich schon ändernd eingreift. Setzt man aber das Manometer seitlich ein, so ist der gemessene Seitendruck (abgesehen davon, dass die Schwankungen bei Anwendung von Quecksilber zu klein ausfallen, um scharfe Messungen zu gestatten) auch noch von der Geschwindigkeit der Luftaufnahme abhängig, und da wir gesehen haben, wie sehr sich gerade die Dauer der einzelnen Respirationsphasen nach Durchschneidung der Vagi ändert, so müssen wir schon aus diesem Grunde solchen manometrischen Messungen jeden Werth für die Lösung der uns hier beschäftigenden Frage absprechen. Valentin[1]) hat solche gemacht, aber ein Blick auf die vielen von ihm mitgetheilten Curven zeigt zur Genüge, das sie nicht mehr lehren, als man eben schon mit blossem Auge sieht. Von den ähnlichen Messungen Wundt's[2]) wird sogleich die Rede sein.

Ein anderes Verfahren dagegen scheint Alles zu leisten, was wir zur Beantwortung unserer Frage bedürfen, nämlich die Messung der in der Zeiteinheit aufgenommenen Luftmenge. Denn diese Luftmenge muss natürlicher Weise zu der bei jedem Athemzuge in Anwendung kommenden Muskelkraft in einem einfachen und constanten Verhältniss stehen. Es genügt aber

[1]) Valentin: Die Einflüsse der Vaguslähmung auf Lungen- und Hautausdünstung. Frankfurt a. M. 1857. 148ff.

[2]) Müll. Arch. 1855. 276ff.

auch, wie eine einfache Ueberlegung zeigt, vollkommen, nur die bei der Inspiration aufgenommene Luftmenge zu messen, um über sämmtliche bei der Respiration verwandte Muskelkräfte Aufschluss zu erhalten. Um dies zu beweisen, wollen wir für den Augenblick annehmen, was ja auch in vielen Fällen zutrifft, es wirke bei der normalen Exspiration gar keine Muskelkraft mit, es geschehe die Exspiration ganz durch elastische Kräfte. Wir messen dann in der aufgenommenen Luftmenge rein die Wirkung der inspiratorischen Muskeln. Gerathen jedoch auch bei der Exspiration Muskeln in Thätigkeit, so werden sie den Thorax über seine natürliche Form hinaus comprimiren. Beim Nachlass ihrer Wirkung wird sich dann der Thorax rein durch seine elastischen Kräfte erweitern bis zu seiner natürlichen Grösse, und erst eine noch weitere Ausdehnung wird durch die Wirkung inspiratorischer Muskeln zu Stande kommen. Da nun aber die bei der Inspiration aufgenommene Luftmenge abhängt von dem Unterschiede der beiden äussersten Stellungen des Thorax, gleichgültig, durch welche Kräfte diese erreicht wurden, so folgt daraus, dass wir bei jeder Inspiration die auf die vorhergehende Exspiration verwandte Muskelkraft mitbestimmen. Dagegen würden solche Muskelthätigkeiten, mögen sie nun bei der Inspiration oder Exspiration vorkommen, gar nicht zur Bestimmung kommen, welche nicht dazu beitragen, den Thorax zu erweitern oder zu verengern, sondern eine Volumveränderung, welche auch ohne Muskelwirkung durch elastische Kräfte zu Stande kommen würde, nur mit grösserer Geschwindigkeit, zu Stande brächten. Dies würde z. B. der Fall sein, wenn unmittelbar nach Vollendung einer activen Exspiration die inspiratorischen Muskeln in Action gerathen, oder umgekehrt. Hier würde also der erste Theil ihrer Wirkung für unsere Bestimmung verloren gehen. Es scheint mir aber sehr unwahrscheinlich, dass eine solche, wenn ich so sagen darf, Luxusthätigkeit der Medulla oblongata in beträchtlichem Grade existire. Immerhin werden wir gut thun, anzunehmen, dass die von uns

gefundenen Werthe bei forcirten Respirationen, wie sie nach Vagusdurchschneidung ja bestehen, möglicher Weise verhältnissmässig etwas zu klein ausfallen.

Wundt, welcher wie wir oben gesehen haben, die Respirationsintensität vor und nach Vagusdurchschneidung an einem seitlich in die Trachea gebrachten Manometer mass, glaubte die Höhe der Wassersäule, welche bei der Inspiration gehoben wurde, der bei der Inspiration aufgenommenen Luftmenge direct proportional setzen zu können.[1]) Durch Multiplication jener Höhe mit der Anzahl der Athemzüge in einer Minute bekommt er Vergleichszahlen für die Intensität der Athmung vor und nach Vagusdurchschneidung. Wäre Wundt's Annahme gerechtfertigt, so könnten wir seine Zahlen direct für unsere Frage verwerthen. Aber leider hat er einige Umstände übersehen, welche seine Zahlen ganz werthlos machen. Der erste ist der schon oben erwähnte, dass die Höhe, bis zu welcher Wasser oder Quecksilber in einem seitlich angesetzten Manometer gehoben wird, auch von der Geschwindigkeit abhängt, mit welcher sich der Thorax erweitert, und dass eben diese Geschwindigkeit nach Vagusdurchschneidung sich ändert. Der zweite ist, dass Wundt sein Manometer hinter der Stimmritze anbrachte. Da nun diese nach Vagusdurchschneidung gelähmt ist, und sich nicht mehr wie im normalen Zustande bei der Inspiration erweitern kann, ja sogar durch die andrängende Luft, welche die erschlafften Stimmbänder an einander klappt, verengert wird, so war damit ein zweiter Umstand gegeben, der allein schon eine andere Erhebung der Wassersäule im Manometer bewirken musste. Noch schlimmer wird dieser Fehler dadurch, dass er so sehr von der Individualität des Thieres abhängt, und besonders mit dem Alter sich so wesentlich ändert. Es ist bekannt, dass die Thiere nach Vagusdurchschneidung nur noch durch die s. g. Glottis respiratoria einathmen können, während die Glottis

[1]) Müll. Arch. 1855. 284.

vocalis dann ganz geschlossen ist, oder nur einen ganz feinen Spalt darstellt. Je jünger aber die Thiere sind, desto kleiner ist die Glottis respiratoria, und bei ganz jungen Thieren existirt sie noch gar nicht, weshalb diese ja auch nach Durchschneidung der Vagi oder Laryngei inferiores ersticken. Dieser Umstand allein würde genügen, den Unterschied zu erklären, welchen WUNDT bei jungen und alten Thieren findet. Er sagt nämlich:[1]) „dass die Luftaufnahme sogleich nach der Durchschneidung beim jüngeren Thier bedeutend erhöht, beim älteren nur wenig erniedrigt ist, sie sinkt dann continuirlich, bis sie vor Eintritt des Todes nur noch einen Bruchtheil der Normalgrösse beträgt." Endlich könnte es auch zweifelhaft erscheinen, ob es möglich ist, auf die von WUNDT angegebene Weise das Manometer „luftdicht" mit der Trachea zu verbinden. Er schnitt nämlich, so beschreibt er selbst sein Verfahren, aus der vorderen Wand der Trachea ein kleines rundes Stück aus, legte keine Canüle ein, sondern hielt die Weichtheile durch ein umgebundenes Stück Flor zurück, und brachte vor die Fistelöffnung „luftdicht" das gläserne Manometerrohr[2]). Wie? — das ist nicht gesagt.

Da mir andere Messungen der Luftmenge vor und nach Vagusdurchschneidung nicht bekannt geworden sind, so kann ich hier nur mittheilen, was ich selbst über diesen Punct ermittelt habe. Ich setzte mir vor, die bei der Inspiration aufgenommene Luftmenge nicht auf Umwegen zu bestimmen, sondern unmittelbar zu messen. Hierzu waren zwei Dinge nothwendig, erstens eine Scheidung der Inspirations- und Exspirationsluft, und zweitens ein passendes Messinstrument. Das erstere erreichte ich leicht dadurch, dass ich das Thier durch eine gabelig sich theilende Canüle athmen liess, und jeden Schenkel der Canüle mit einem Ventil versah, welches dem Luftstrom nur in einer Richtung den Durchtritt gestattete. Als Messinstrument

[1]) MÜLL. Arch. 1855. 285.

[2]) Ebenda 275.

hätte ich am liebsten eine Gasuhr (compteur à gaz) benutzt, wie sie in neuerer Zeit in Frankreich zu spirometrischen Messungen gebraucht werden. Da mir aber kein Instrument der Art mit hinreichend feiner Eintheilung zu Gebote stand, so liess ich die Inspirationsluft aus einer schwimmenden Glocke schöpfen, und mass das Volum der aufgenommenen Luft durch das Sinken der Glocke. Als solche benutzte ich ein HUTCHINSON'sches Spirometer, welches 25 Ccm. direct abzulesen gestattete. Da bei diesen Instrumenten, welche sonst nur für die Exspiration benutzt werden, die Glocke stets durch die Gegengewichte mehr als äquilibrirt zu sein pflegt, so legte ich oben auf die Glocke so lange Gewichte, bis gerade Gleichgewicht hergestellt war, so dass das Thier bei der Einathmung nur den Widerstand des Ventiles und die Reibung am Spirometer zu überwinden hatte.

Die Messung der bei einer einzigen Inspiration aufgenommenen Luftmenge ist deshalb unthunlich, weil diese sehr klein und ausserordentlich wechselnd ist. Man thut daher besser, die Messung für einen bestimmten grösseren Zeitraum auszuführen. Aus diesem ergiebt sich ja dann von selbst die auf jeden einzelnen Athemzug kommende mittlere Luftmenge durch Division mit der Anzahl der in jenem Zeitraum gemachten Athemzüge. Doch kommt es uns ja auf diese viel weniger an, als eben auf die in einer bestimmten Zeit aufgenommene Luftmenge, welche wir fortan die Athmungsgrösse nennen wollen.

Die Bestimmung dieser Athmungsgrösse geschah nun folgender Maassen: In die unterhalb des Kehlkopfs geöffnete Trachea band ich luftdicht eine Canüle, welche nach Art der TROUSSEAU'schen Canülen aus zwei ineinander geschobenen Röhren bestand, damit die innere von Zeit zu Zeit herausgenommen und gereinigt werden konnte. Diese innere war natürlich luftdicht in der äusseren eingeschliffen. Sie stand durch einen kurzen Kautschukschlauch mit einem durchbohrten conischen Zapfen in Verbindung, welcher wiederum luftdicht in das Hauptstück eines sich gabelig theilenden Rohres eingeschliffen war.

Jeder Schenkel des gabeligen Rohres stand mit einem Ventile in Verbindung, so dass die Luft durch das eine nur ein-, durch das andere nur austreten konnte. Diese Ventile waren ganz wie die von W. Müller angewandten nach Art der Spritzflaschen eingerichtet, nur wandte ich, um den Widerstand möglichst zu verringern, nicht Quecksilber, sondern Wasser als Sperrflüssigkeit an. Kleine cylindrische Gläser waren mit doppelt durchbohrten Korken geschlossen. Durch die Durchbohrungen der Korke gingen oben rechtwinklig abgebogene Glasröhren. Die eine dieser Röhren endete dicht unter dem Kork, die andere ging bis auf den Boden des Glases und tauchte hier etwa 5mm weit in Wasser. Es wurde nun das lange Glasrohr des einen und das kurze Glasrohr des anderen Gefässes durch einen kurzen Kautschukschlauch mit je einem Schenkel des gabeligen Rohres verbunden. Es musste also die Exspirationsluft durch das erstere Gefäss entweichen, die Inspirationsluft durch das zweite eintreten. Wurde das lange Glasrohr dieses zweiten mit dem Spirometerrohre verbunden, so sank die Glocke desselben fortwährend, und man konnte die Athmungsgrösse bestimmen, wenn man den Stand der Glocke am Anfange und Ende eines bestimmten Zeitraumes an der Scala ablas. Dies geschah folgender Maassen: Der conische Zapfen wurde zunächst aus dem gabeligen Rohr ausgezogen, so dass das Thier einfach durch die Canüle und den daran befestigten kurzen Gummischlauch athmete, und das Spirometer auf einen bestimmten Theilstrich eingestellt. Zur bestimmten Zeit wurde nun der Zapfen eingesteckt, das Thier begann seine Inspirationsluft aus dem Spirometer zu beziehen. Nach Verlauf einer bestimmten Zeit wurde der Zapfen wieder ausgezogen, und das Spirometer behielt den Stand, welchen es während jener Zeit erlangt hatte. Die Anordnung des ganzen Versuches ist auf Taf. III. dargestellt. J ist das Inspirations-, E das Exspirationsventil, z der conische Zapfen, welcher in das gabelige Rohr gesteckt wird, sobald der Versuch beginnen soll. Das Uebrige ist von selbst verständlich.

Ich will hier einige so angestellte Versuche mittheilen und daran die aus denselben gezogenen Folgerungen knüpfen.

Erster Versuch. Kräftiges Kaninchen, auf dem Rücken befestigt, während des ganzen Versuches sehr ruhig.

Zeit.	Stand des Spirometer.	Athmungsgrösse für 10 Minuten in CCm.
5h 18′	6300	
5h 28′	2175	
		4125
5h 31′	6000	
5h 41′	2550	
		3450

Beide Vagi werden präparirt und durchschnitten:

5h 57′	6000	
6h 7′	1950	
		4050
6h 35′	6000	
6h 45′	2850	
		3150
7h 2′	6000	
7h 12′	3150	
		2850
7h 30′	6000	
7h 40′	3625	
		2375

Wir sehen also, dass unmittelbar nach der Durchschneidung beider Nerven die Athmungsgrösse sich nicht wesentlich geändert hat, denn sie fällt hier zwischen die beiden vor

der Durchschneidung gefundenen Werthe. Von da an fällt sie aber, zwar langsam, doch stetig, so dass sie schon 1½ Stunde nach der Durchschneidung nur ohngefähr die Hälfte des vor der Durchschneidung gemessenen Werthes beträgt.

Zweiter Versuch. Kräftiges, erwachsenes Kaninchen, auf dem Rücken befestigt, mit Aether bis zur Gefühllosigkeit narcotisirt.

Zeit.	Stand des Spirometer.	Athmungsgrösse für 5 Minuten in CCm.	Zahl der Athemzüge in 1 Minute.
10h 50′	6600		
10h 55′	3450		53
		3150	
11h 5′	6625		
11h 10′	3350		59
		3275	

Linker Vagus durchschnitten und mehrmals gereizt, rechter Vagus freipräparirt.

11h 50′	6625		
11h 55′	3150		50
		3475	

Rechter Vagus durchschnitten und ein Mal gereizt.

12h 5′	6400		
12h 10′	3375		47
		3025	
12h 35′	6600		
12h 40′	3575		
		3025	
1h 5′	6450		
1h 10′	4250		47
		2250	

Die Abnahme der Respirationsfrequenz nach Durchschneidung des zweiten Vagus war hier nur unbedeutend, die Tiefe der einzelnen Athemzüge nicht sehr gesteigert. Es scheint sich eine geringe Abnahme der Athmungsgrösse nach Durchschneidung des zweiten Vagus zu ergeben. Das spätere Sinken wird schon nach einer Stunde deutlich wahrnehmbar.

Dritter Versuch. Kräftiges, ausgewachsenes Kaninchen, auf dem Rücken befestigt.

Zeit.	Stand des Spirometer.	Athmungsgrösse für 5 Minuten in CCm.	Zahl der Athemzüge in 1 Minute.
12h	6000		
12h 5′	3675		
		2325	
12h 15′	6000		
12h 20′	3550		82
		2450	
12h 40′	6000		
12h 45′	3700		68
		2300	
Beide Vagi durchschnitten.			
12h 50′	6000		
12h 55′	2775		60
		3225	
1h	6000		
1h 5′	3300		66
		2700	
1h 20′	5000		
1h 25′	1775		63
		3225	

Das Thier wird losgebunden und sitzt ruhig auf dem Tische.

Zeit.	Stand des Spirometer.	Athmungs-grösse für 5 Minuten in CCm.	Zahl der Athemzüge in 1 Minute.
1h 40′	5400		
1h 45′	2750		59
		2650	

Nachdem das Thier sich selbst überlassen, mit mässigen dyspnoëtischen Erscheinungen auf dem Tische sitzend:

5h 30′	5400		
5h 35′	3675		38
		1725	

Hier sehen wir also eine deutliche Steigerung der Athmungsgrösse unmittelbar nach der Durchschneidung, welche später einer beträchtlichen Abnahme Platz macht.

Vierter Versuch. Junges Kaninchen, welchem nach Unterbindung beider Carotiden das Grosshirn exstirpirt worden.

1h 30′	6000		
1h 35′	4425		44
		1575	
1h 40′	6000		
1h 45′	4400		44
		1600	
1h 50′	6000		
1h 55′	4350		44
		1650	

Beide Vagi durchschnitten.

Zeit.	Stand des Spirometer.	Athmungsgrösse für 5 Minuten in CCm.	Zahl der Athemzüge in 1 Minute.
2h	6000		
2h 5′	3950		36
		2050	

Fünfter Versuch. Mässig grosses Kaninchen, welchem nach Unterbindung beider Carotiden das Grosshirn exstirpirt worden.

4h 30′	6000		
4h 35′	2025		80
		3975	
4h 40′	6000		
4h 45′	2600		84
		3400	
4h 55′	6000		
5h	3200		60
		2800	
5h 5′	6000		
5h 10′	3475		54
		2525	
5h 15′	6000		
5h 20′	3800		50
		2200	
5h 22′	Beide Vagi durchschnitten.		
5h 25′	6000		
5h 30′	3725		49
		2275	

Zeit.	Stand des Spirometer.	Athmungsgrösse für 5 Minuten in CCm.	Zahl der Athemzüge in 1 Minute
5h 35′	6000		
5h 40′	4250		49
		1750	
5h 50′	6000		
5h 55′	4125		46
		1875	
6h 30′	6000		
6h 35′	4575		45
		1425	
7h	6000		
7h 5′	4700		45
		1300	
Am folgenden Tage			
9h 45′	6000		
9h 50′	4650		47
		1350	

Auch in diesen beiden Versuchen zeigt sich eine Steigerung der Athmungsgrösse nach Vagusdurchschneidung. Dieselbe tritt im vierten Versuche ganz rein hervor, während sie im fünften nur als eine Verzögerung des vorher so auffallenden Sinkens sich äussert. Die characteristischen Erscheinungen der Athmung nach Vagusdurchschneidung waren in dem letzteren Versuch vorhanden, jedoch nicht so deutlich ausgeprägt, als dies in anderen Fällen zu sein pflegt.

Sechster Versuch. Sehr grosses trächtiges Kaninchen, durch Injection einer wässrigen Lösung von Morphium aceticum in die Bauchhöhle in tiefe, anhaltende Narcose versetzt. Die Bauch-

höhle war zum Zweck anderer vorher angestellter Versuche durch einen Kreuzschnitt geöffnet

Zeit.	Stand des Spirometer.	Athmungsgrösse für 5 Minuten in CCm.	Zahl der Athemzüge in 1 Minute.
12h	6000		
12h 5′	4700		33
		1300	
12h 10′	6000		
12h 15′	4700		34
		1300	
12h 18′	werden beide Vagi durchschnitten		
12h 25′	6000		
12h 30′	5200		15
		800	
12h 35′	6000		
12h 40′	5000		19
		1000	
12h 50′	6000		
12h 55′	5050		19
		950	

Hier ist die Abnahme der Athmungsgrösse sehr beträchtlich. Die Inspirationen waren nach der Durchschneidung ausserordentiich verstärkt, dagegen geschah die Exspiration fast „ganz passiv," weil die wesentlichsten Exspiratoren, die Bauchmuskeln fehlten.

Siebenter Versuch. Mässig grosses starkes Kaninchen, durch Injection einer wässerigen Lösung von Morphium aceticum in die Bauchhöhle narcotisirt.

Zeit.	Stand des Spirometer.	Athmungs-grösse für 5 Minuten in CCm.	Zahl der Athemzüge in 1 Minute.
12h 5′	6000		
12h 10′	5025		22
		975	
12h 20′	6000		
12h 25′	5125		16
		875	
12h 30′	6000		
12h 35′	5000		17
		1000	
12h 55′	6000		
1h	5000		20
		1000	
1h 4′	werden beide Vagi durchschnitten.		
1h 10′	6000		
1h 15′	5075		12
		925	
1h 20′	6000		
1h 25′	5125		12
		875	

Der linke Vagus wird mehrmals gereizt.

1h 55′	6000		
2h	5050		15
		950	
2h 15′	6000		
2h 20′	5175		15
		825	

In diesem Versuch ist die Constanz der Athmungsgrösse vor und nach Vagusdurchschneidung ganz augenscheinlich, die Schwankungen bleiben fast genau innerhalb derselben Grenzen.

Achter Versuch. Kräftige, erwachsene Taube, auf dem Rücken befestigt.

Zeit.	Stand des Spirometer.	Athmungsgrösse für 5 Minuten in CCm.
3h 35′	6000	
3h 40′	4475	
		1525
3h 45′	6000	
3h 50′	4700	
		1300
4h	6000	
4h 5′	4850	
		1150
4h 15′	6000	
4h 20′	4550	
		1450
4h 25′	6000	
4h 30′	4875	
		1125
4h 35′	werden beide Vagi durchschnitten.	
4h 40′	6000	
4h 45′	5475	
		525
4h 50′	6000	
4h 55′	5525	
		475

Zeit.	Stand des Spirometer.	Athmungsgrösse für 5 Minuten in CCm.
5h	6000	
5h 5′	5575	
		425
5h 25′	6000	
5h 30′	5500	
		500
5h 45′	6000	
5h 50′	5600	
		400
5h 55′	6000	
6h	5625	
		375
Am Tage darauf		
10h 40′	6000	
10h 45′	5375	
		625
10h 50′	6000	
10h 55′	5350	
		650

Wir sehen also hier unmittelbar nach der Durchschneidung die Athmungsgrösse um die Hälfte abnehmen, und dann noch ferner sinken, so dass sie 1½ Stunde nach der Durchschneidung kaum noch ⅓ der vor der Durchschneidung erhaltenen Werthe erreicht. Am folgenden Tage (18 Stunden nach der Durchschneidung) war die Athmungsgrösse allerdings wieder gestiegen, blieb aber immer noch gering im Vergleich zur Norm. Der Tod erfolgte etwa 40 Stunden nach der Durchschneidung.

Die Zahl der Athemzüge wurde leider nicht aufgezeichnet, sie war unmittelbar nach der Durchschneidung so sehr gesunken, dass die Pausen zwischen zwei Athemzügen 7 Secunden betrugen, was etwa acht Athemzüge in der Minute wäre. Am folgenden Tage jedoch war die Respirationsfrequenz bedeutend gestiegen, ohne indess die Norm zu erreichen.

Neunter Versuch. Kräftige erwachsene Taube, auf dem Rücken befestigt.

Zeit.	Stand des Spirometer.	Athmungsgrösse für 5 Minuten in CCm.	Anzahl der Athemzüge in 1 Minute.
11h 35′	6000		
11h 40′	4600		59
		1400	
11h 45′	6000		
11h 50′	4600		66
		1400	
12h	Beide Vagi werden freipräparirt und durchschnitten.		
12h 5′	6000		
12h 10′	5575		8
		425	
12h 30′	6000		
12h 35′	5600		7
		400	

Die Abnahme der Athmungsgrösse ist hier noch beträchtlicher, als im vorigen Versuche. Die Taube lebte noch nach 49 Stunden, starb jedoch, als sie auf das Brett gebunden wurde, und eben die Athmungsgrösse gemessen werden sollte.

Diese Versuche zeigen einen beträchtlichen Unterschied im Verhalten der Athmung nach Vagusdurchschneidung bei Kaninchen und Tauben. Bei den letzteren bewirkt die Durchschneidung der Vagi eine ungeheure Abnahme der Respirationsfrequenz, welche hauptsächlich durch eine ungemein grosse Dauer der Pause bedingt wird, aber eine verhältnissmässig geringe Zunahme in der Intensität jedes einzelnen Athemzuges. In unserem letzten Versuch kommen auf jeden Athemzug vor der Durchschneidung ohngefähr 4,3 CCm. Einathmungsluft; nach der Durchschneidung 11 CCm. Die Tiefe jedes Athemzuges war also ohngefähr im Verhältniss von 1:2,5 gewachsen, während die Athmungsfrequenz im Verhältniss von 8:1 abgenommen hatte. In Folge dessen sank die Athmungsgrösse auf weniger als ⅓ ihres ursprünglichen Werthes. Daraus folgt, dass bei den Vögeln ein sehr beträchtlicher Theil der von dem respiratorischen Centralorgan geleisteten Arbeit im normalen Zustande durch die Vagi ausgelöst wird. Es müssen also die Vagusfasern der Taube in ihrer peripherischen Ausbreitung fortwährend einem Reiz ausgesetzt sein, welcher zur Medulla oblongata fortgeleitet und dort auf die respiratorischen Nerven übertragen wird. Wodurch dieser Reiz ausgeübt wird, ist schwer zu sagen, aber dass er besteht, geht aus den Versuchen mit Bestimmtheit hervor.

Man könnte geneigt sein, diese Thatsache im Sinne Marshall Hall's oder Brachet's zu deuten, und die Erregung der Medulla oblongata durch die Vagi als die einzige Ursache der Athmung anzusehen, wenn sich nur eine Ursache finden liesse dafür, dass nach Durchschneidung der Vagi überhaupt noch geathmet wird. Brachet's Annahme eines Fortathmens aus Gewohnheit und Marshall Hall's Voraussetzung einer Willkür sind für Vögel nicht minder unhaltbar, als für Säugethiere. Vögel athmen nach Durchschneidung der Vagi fort, auch wenn ihnen vorher das Grosshirn exstirpirt worden ist, und wenn das Fortathmen aus Gewohnheit geschehen sollte, so wäre nicht einzu-

sehen, warum es nicht mit unveränderter Geschwindigkeit und Stärke fortdauert, sondern so beträchtlich sinkt, um sich erst später wieder etwas zu heben. Die Betrachtungen, welche wir im ersten Capitel anstellten, um zu beweisen, dass im Blute der Reiz für die Medulla oblongata zu suchen sei, gelten für die Vögel nicht minder, als für die Säugethiere. Volkmann[1]) sah Hühnerembryonen Athembewegungen machen, wenn er die Eier unter Wasser zerschlug. Bei Respirationshindernissen wird auch die Athmung der Vögel beschleunigter und tiefer. Andererseits ist aber nicht zu leugnen, dass die Vögel auf Veränderungen im Gasgehalt des Blutes verhältnissmässig weniger reagiren, als Säugethiere. Wir müssen daher annehmen, dass die Reizung durch das Blut bei ihnen geringer ist, als bei Säugethieren, und dass erst durch die Mitwirkung der Vagi die Medulla oblongata zu dem Grade der Reizung gelangt, wie wir ihn beim normalen Thiere antreffen. Fällt dieser Theil der Reizung fort, wenn die Vagi durchschnitten sind, so bleibt nur ein geringer Theil der im normalen Zustande auf die Athmung verwendeten Thätigkeit übrig.

Diese Anschauung, welche sich aus den Versuchen unmittelbar ergiebt, lässt jedoch einen Umstand ganz unberücksichtigt, dass nämlich auch bei Vögeln nach Vagusdurchschneidung die Tiefe jedes einzelnen Athemzuges vergrössert wird. Man sollte vermuthen, dass wenn ein Theil der auf die Medulla oblongata ausgeübten Reizung fortfällt, einfach die Anzahl der Athemzüge abnehmen sollte, vielleicht sogar mit gleichzeitiger Verminderung der Tiefe. Das entgegengesetzte Verhalten führt zu dem Schluss, dass die Verknüpfung der Vagi mit den Ganglien des respiratorischen Centralorganes nicht einfach der Art sein könne, dass blos die durch die sensiblen Nerven zugeführte Reizung in Erregung motorischer Nerven umgesetzt werde, wie es etwa bei

[1]) Müll. Arch. 1841.

den gewöhnlichen Reflexbewegungen ist.[1]) Dies wird noch auffallender bei Säugethieren, wo die Steigerung der Athmungsintensität so beträchtlich ist.

Unsere Versuche an Kaninchen lassen nämlich nur den Schluss zu, dass die Athmungsgrösse in Folge der Vagusdurchschneidung sich gar nicht ändere. Leider ist diese Grösse so wenig constant, dass sich eine ganz exacte Vergleichung vor und nach der Durchschneidung nicht ausführen lässt. Ich hoffte, da die Aethernarcose nicht zum Ziele führte, durch Exstirpation des Grosshirns die Schwankungen innerhalb engerer Grenzen einschliessen zu können. Leider ist aber dieses für die meisten Versuche über Athembewegungen immerhin ganz unschätzbare Verfahren ein zu grosser Eingriff, um stets unschädlich zu verlaufen. Ein Beispiel hierfür liefert unser fünfter Versuch, bei welchem schon vor der Durchschneidung Athmungsgrösse und Frequenz im fortwährenden Sinken begriffen sind. Und dabei hatte das Thier bei der ganzen Operation nur sehr wenig Blut verloren, und wenig gelitten, wie die lange Lebensdauer (18 Stunden) nach Durchschneidung der Vagi beweist. Jedenfalls kann soviel mit Sicherheit gesagt werden, dass die Athmungsgrösse nach Durchschneidung der Vagi nicht abnimmt; dass also die Steigerung in der Intensität der Athemzüge jedenfalls die Abnahme der Frequenz aufwiegt. Es wird also bei Kaninchen nicht wie bei Tauben die Thätigkeit der Medulla oblongata zum Theil von den Vagis angeregt, wie dies Marshall Hall und Brachet ganz allgemein annahmen.

Es liegt nahe, diesen Unterschied in der Wirkung der Vagusdurchschneidung bei Säugethieren und Vögeln so zu erklären, dass man annimmt, ein Theil der Thätigkeit des respiratorischen Nervencentrum werde in normalem Zustande auch beim Säuge-

[1]) Hiermit soll nicht etwa gesagt werden, dass ich mir die Reflexbewegung als eine einfache Uebertragung von Kräften vorstelle, da ja in vielen Fällen die motorische Erregung beträchtlich die sensibele Reizung übertrifft, also offenbar unter die Rubrik der „Auslösung von Kräften" gehört.

thiere durch die Vagi angeregt, nach Vagusdurchschneidung müsse also die Zahl der Respirationen abnehmen. Indem aber dadurch der Sauerstoffgehalt des Blutes sinke, werde die unmittelbare Reizung der Medulla oblongata durch dasselbe verstärkt, und so käme eine Ausgleichung zu Stande, in Folge deren die Athmungsgrösse nahezu dieselbe bliebe. Dieser Auffassung lässt sich jedoch entgegenhalten: erstlich, dass die Verstärkung der einzelnen Athemzüge stets unmittelbar mit der Abnahme der Athemfrequenz auftrete, während doch nach jener Anschauung unmittelbar nach der Durchschneidung zunächst die Athmungsgrösse sinken müsste, um dann erst in Folge der Verarmung des Blutes an Sauerstoff wieder zu steigen; zweitens, dass nicht abzusehen, warum die verstärkte Reizung durch das Blut nur zu einer Ausgleichung durch Vermehrung der Intensität und nicht auch der Zahl der Athemzüge führen soll, da doch nachweislich auch nach Durchschneidung der Vagi Respirationshindernisse, welche den Sauerstoffgehalt des Blutes verringern, die Respirationsfrequenz vermehren können; drittens endlich, dass gar keine wesentliche Abnahme des Sauerstoffgehaltes im Blute nachweisbar sei. Zwar geben viele Forscher an, dass nach Durchschneidung der Vagi das Arterienblut dunkler werde, aber dies bezieht sich doch nur auf die späteren Stadien nach der Durchschneidung, während in der ersten Zeit eine auffallende Farbenveränderung nicht eintritt. Diese bleibt aber doch, so lange wir keine Gasanalysen besitzen, das einzige Zeichen, worauf sich jene Annahme stützen könnte. Und ziemlich beträchtlich müsste diese Sauerstoffabnahme schon sein, um jenen Effect zu bewirken.

Die anscheinend so plausibele Annahme, dass die Vagi während des normalen Lebens stetig erregend auf die Medulla einwirken, stösst daher auf nicht unerhebliche Schwierigkeiten, und lässt sich daher so nackt, wie sie oben hingestellt wurde, nicht halten, Es muss vielmehr als viel wahrscheinlicher angesehen werden, dass die Vagi zunächst und unmittelbar mit dem

Grade der Thätigkeit, welche die Medulla oblongata ausübt, beim Säugethier Nichts zu thun haben. Dieser Grad scheint vielmehr nur bestimmt zu werden vom Sauerstoffgehalt des Blutes in der Weise, wie wir es im ersten Capitel auszuführen gesucht haben. Dagegen würde der Einfluss der Vagi sich geltend machen in der Art und Weise, wie dieser bestimmte Grad von Thätigkeit sich auf eine bestimmte Zahl von Athembewegungen vertheilt.

Schon im ersten Capitel haben wir angedeutet, wie schwierig es ist, sich eine Vorstellung darüber zu verschaffen, warum die Thätigkeit der Medulla eine rhythmische sei. Hier scheinen wir einen Anhaltspunkt zu haben, von dem aus eine Lösung jenes Räthsels zu finden wäre. Nicht als ob wir die Ursache der rhythmischen Thätigkeit in dem Einflusse der Vagi suchen könnten. Denn die Athmung geht ja auch noch rhythmisch vor sich, wenn die Vagi durchschnitten, und auch die anderen Wege abgeschnitten sind, auf denen etwa noch ähnliche Einwirkungen als durch die Vagi zu den Ganglien des respiratorischen Nervencentrum gelangen könnten, nämlich nach vollständiger Isolirung der Medulla oblongata von den darüber und darunter liegenden Partien des Nervensystems. Aber es ist schon viel gewonnen, wenn wir feststellen können, dass derjenige Mechanismus, in welchem die Ursachen der rhythmischen Action gelegen sein müssen, einer Einwirkung von Seiten eines bestimmten Nerven ausgesetzt ist. Denn so können wir hoffen, durch Erforschung der Umstände, welche bei jener Einwirkung von Einfluss sind, die Data zu erlangen, aus denen sich eine annehmbare Vorstellung über jenen Mechanismus ableiten lassen könnte.

Ein solcher Zusammenhang muss aber, das lehren die Beobachtungen, zwischen jenem Mechanismus und den Vagis bestehen. Denn wenn der Grad der Thätigkeit, welche das Centralorgan ausübt, nur von dem Grade der Reizung abhängt, den es durch das Blut erfährt, wenn aber die Vertheilung dieser Thätigkeit in der Zeit so sehr von den Vagis abhängt, so kann

dies nach unserer Art der Auffassung nur von einer Verknüpfung der Vagi mit jenem die Rhythmik bedingenden Mechanismus abhängen. Weitere Spekulationen über die Beschaffenheit jenes Mechanismus können aber zu Nichts führen, bevor wir nicht den Kreis unserer Kenntnisse durch das Studium der Erscheinungen erweitert haben, welche bei künstlicher Erregung der Vagi auftreten.

So viel aber lassen diese Betrachtungen schon jetzt erkennen, warum die Erscheinungen der Athembewegungen nach Vagusdurchschneidung so sehr verschieden ausfallen können. Wie nämlich die Anzahl und Tiefe der Athemzüge im normalen Zustande den grössten Schwankungen unterworfen ist, ja nach dem Grade der Reizung durch das Blut und der Reizbarkeit der Medulla oblongata, so kann natürlich auch nach Durchschneidung der Vagi keine Gleichmässigkeit herrschen. Deshalb sehen wir zuweilen eine ausserordentlich geringe Abnahme der Athemfrequenz, zuweilen eine sehr beträchtliche. Und umgekehrt ist im ersteren Falle die Tiefe der einzelnen Athemzüge sehr wenig gesteigert, im letzteren Falle ausserordentlich, da das Product aus Tiefe und Anzahl, die Athmungsgrösse sich niemals beträchtlich ändert. Deshalb kann die Form der Athmung und die Zahl der in Thätigkeit gerathenden Muskeln sehr wechseln. Zu der die normale Inspiration des Kaninchen allein bewirkenden Thätigkeit des Zwerchfells treten der Reihe nach die Mm. intercostales externi und intercartilaginei, die levatores costarum breves et longi, schliesslich die scaleni, kurz die Verstärkung der Inspiration nach Vagusdurchschneidung ist eine graduell verschiedene in verschiedenen Fällen, und die allmähliche Inanspruchnahme verschiedener Muskeln geschieht in derselben Reihenfolge, wie sie TRAUBE[1]) für die allmählich wachsenden Respirationshindernisse festgestellt hat. War die Athmung vor der Durchschneidung schon schnell und beschwerlich, so

[1]) Beiträge II. 125 ff.

wird die verhältnissmässige Abnahme der Zahl und Zunahme der Tiefe grösser sein, als umgekehrt.

Dasselbe, wie bei der Inspiration, finden wir auch bei der Exspiration: sie wird verstärkt, aber in verschiedenen Fällen nicht in gleichem Maasse. Die normale Exspiration geschieht fast ganz ohne Muskelwirkung; nur bei den höheren Graden der Dyspnoe tritt diese auf.[1]) Nach Vagusdurchschneidung fehlt dieselbe nie, aber sie ist sehr verschieden in ihrer Stärke. Welche wichtige Rolle aber diese active Exspiration nach Vagusdurchschneidung auf die Ausgleichung der Athmungsgrösse hat, zeigt unser sechster Versuch, der einzige am Kaninchen, wo die Athmungsgrösse merklich fiel. Und hier waren die Bauchmuskeln ausser Thätigkeit gesetzt. Demnach kann ich nicht umhin, BUDGE's Behauptung, die Exspiration werde nach Vagusdurchschneidung „ganz passiv," lediglich für einen Irrthum von seiner Seite zu halten, vielleicht durch eine vorgefasste Meinung über die Rolle des Vagus veranlasst.

Diese Betrachtungen erläutern endlich noch, warum die Athmungsgrösse in einzelnen Fällen nach der Vagusdurchschneidung sogar zunimmt und warum sie später immer sinkt. Es ist nämlich klar, dass bei dem längeren Verweilen der Luft in den Lungen, wie es bei langsamer Athmung der Fall ist, eine und dasselbe in einer bestimmten Zeit inspirirte Luftvolum zu einem weniger vollständigen Gaswechsel des Blutes führen muss. Denn die Zusammensetzung der Luft in den Alveolen wird sich der Grenze, wo die Spannungen ihrer Bestandtheile mit den Spannungen der betreffenden Gase im Blute sich im Gleichgewichte befinden, umsomehr nähern, je länger die Luft in den Lungen verweilt. Wird also dieselbe Summa von Thätigkeit vor wie nach der Vagusdurchschneidung auf die Athmung verwandt, wie es eben dem vorhandenen Gasgehalt entspricht, so wird zwar

[1]) Dass bei Kaninchen sich schon in der normalen Exspiration die Mm. obliqui abdominis externi zusammenziehen, ist oben schon angegeben.

gleich viel Luft aufgenommen; aber diese Luftmenge vermag nicht mehr ganz den Verbrauch an Sauerstoff zu decken, der Sauerstoffgehalt des Blutes nimmt daher ab, und eine Vermehrung der Thätigkeit der Medulla oblongata, und also auch der Athmungsgrösse, ist die Folge, so lange nur der Athmungsapparat die genügende Leistungsfähigkeit hat. Aber gerade diese muss natürlich unter der den Athemmuskeln auferlegten grösseren Arbeit abnehmen. Die Folge davon ist dann ein Sinken der Athmungsgrösse, welche wiederum eine Abnahme des Sauerstoffgehaltes des Blutes und dadurch jenen Vorgang zur Folge hat, welchen wir schon im ersten Capitel als Erstickung kennen gelernt haben. Man muss sehr geneigt sein, diese allmähliche Abnahme der Athmung als die schliessliche Ursache des Todes anzusehen, welcher ja auch dann unfehlbar in kurzer Zeit einzutreten pflegt, wenn der Eintritt entzündlicher Erscheinungen in den Lungen ganz vermieden wird. Doch will ich hiermit nicht etwa gesagt haben, dass nicht auch andere Todesursachen mitwirken können, wie z. B. die schliessliche Ermüdung des Herzens. Diese allmähliche Abnahme der Athmung giebt auch den Thieren in späteren Stadien jene characteristische Resistenz gegen die gänzliche Aufhebung der Athmung, wie wir sie im ersten Capitel als begleitende Erscheinung der langsam eintretenden Erstickung geschildert haben.

Wie schwer die Ausgleichung der Athmungsgrösse werden muss, wenn ein bestehendes Respirationshinderniss an und für sich schon eine gesteigerte Thätigkeit der Medulla oblongata bedingt, liegt auf der Hand. Man sieht dies ausserordentlich schön bei Thieren mit doppelseitigem Pneumothorax, wo die künstliche Respiration das Mittel bietet, jeden beliebigen Grad der Dyspnoe herzustellen. Hat man eine Zeit lang sehr stark Luft eingeblasen, so werden die Athembewegungen zuletzt ungemein schwach und hören zuletzt sogar ganz auf. Sistirt man dann die künstliche Respiration, so dauert es oft einige Zeit, bis die Athmung wieder beginnt; es ist dann dem Blute ein

solcher Ueberschuss von Sauerstoff zugeführt, dass die Medulla oblongata gar nicht gereizt wird, bis der allmähliche Verbrauch von Sauerstoff die Athmung in Gang bringt, die nun immer stärker und stärker wird. Durchschneidet man nun in einem dieser Stadien die Vagi, so ist der Erfolg jedes Mal ein anderer, graduell verschiedener. Geschieht die Durchschneidung in den höheren Graden der Dyspnoe, so werden die Athembewegungen plötzlich ausserordentlich selten und sehr energisch. Man sieht dann, dass die Dauer der Inspiration ausserordentlich verlängert ist, und dass die Hebemuskeln der Rippen ausserordentlich lange in zusammengezogenem Zustande verharren. Etwas Aehnliches, doch minder auffallend, kehrt auch bei der Exspiration wieder. Es ist aber klar, dass eine solche tetanusartige Zusammenziehung der Athemmuskeln eine geringere Athmungsgrösse zur Folge haben muss, als eigentlich der von der Medulla oblongata geleisteten Arbeit entspricht. Da nun dieser Modus der Respiration sich stets in den späteren Stadien nach der Vagusdurchschneidung stärker ausbildet, so folgt daraus wiederum mit Nothwendigkeit jene immer grösser werdende Abnahme der Athmungsgrösse.

Es kann und muss jedoch die Frage aufgeworfen werden, mit welchem Rechte wir diese Veränderungen der Athmung auf die Einwirkung centripetalleitender Fasern zurückführen, da sie möglicher Weise nur secundäre Folgen gewisser Veränderungen im Athmungsapparate sind; erst wenn diese ausgeschlossen werden, kann jene Annahme gerechtfertigt erscheinen. Bei einer Musterung der möglichen Veränderungen begegnen wir zuerst wieder der Lähmung des Kehlkopfs und dadurch bedingten Verengerung der Stimmritze. Dass diese Behinderung des Luftzutritts zu dyspnoëtischen Erscheinungen führen müsse, scheint ganz selbstverständlich. Doch reicht dieser Umstand zur Erklärung durchaus nicht hin. Erstlich sind die Erscheinungen nach Durchschneidung der Laryngei inferiores durchaus nicht

dieselben, und zweitens vermag die Tracheotomie die Athmung nicht wieder zur normalen Form zurückzubringen. Mit Unrecht legt daher WUNDT[1]) ein so grosses Gewicht auf die Lähmung der Stimmbänder, umsomehr, als seiner Auseinandersetzung eine Verkennung der anatomischen und physicalischen Verhältnisse zu Grunde liegt. Nach WUNDT setzt die geschlossene Stimmritze (soll wol heissen „verengte", denn geschlossen ist sie nur bei ganz jungen Thieren) dem Lufteintritt ein Hinderniss entgegen, welches nur durch eine stärkere Erweiterung des Thorax gehoben werden kann, indem durch die stärkere Luftverdünnung im Thorax die Stimmbänder von einander gedrückt werden und die Stimmritze geöffnet wird. Aber WUNDT vergisst hierbei, dass durch eine Luftverdünnung im Thorax wol ein Verschluss, niemals aber eine Oeffnung der Stimmritze bewirkt werden kann, da die Stimmbänder sich nicht nach Innen, sondern nach Aussen öffnen. Indem nun, fährt WUNDT fort, das Hinderniss so gross wird, dass die Kraft der Inspirationsmuskeln nicht mehr ausreicht, dem Thiere die genügende Luftmenge zuzuführen, so muss das Thier diese ungenügende Kraft längere Zeit in Anwendung bringen, daher das Sinken der Respirationsfrequenz. Ein Blick auf Fig. 4, Taf. II zeigt das Unrichtige dieser Ansicht; nicht die verlängerte Inspiration, sondern die auffallende Länge der Exspirationspause ist der hauptsächlichste Grund der verminderten Athemfrequenz. Die verlängerte Inspiration kann daher zum Theil wol von der Verengerung der Stimmritze herrühren, aber nicht diese ist es, welche das Wesen der nach Vagusdurchschneidung auftretenden Veränderungen im Athemmechanismus ausmacht. WUNDT sieht sich daher auch selbst genöthigt, noch andere Umstände zur Erklärung zu Hilfe zu rufen; die Lähmung des Bronchialbaums und jene schon oben besprochene Abnahme der Exspiration. Es folgt daraus eben nur, dass die Lähmung der Stimmbänder vollkommen unzurei-

[1]) MÜLL. Arch. 1855. 306ff.

chend ist, die gewaltigen Veränderungen zu erklären, um welche es sich hier handelt. Von dem vermeintlichen „Passivwerden" der Exspiration ist schon oben gezeigt worden, dass die Beobachtungen mit den betreffenden Annahmen BUDGE's und WUNDT's nicht im Einklange sind.

Was nun die Lähmung des Bronchialbaums anbetrifft, so fehlen uns freilich, wie WUNDT richtig anmerkt, alle Erfahrungen, um zu beurtheilen, welchen Antheil seine Musculatur an dem Mechanismus der Respiration habe, aber im Gegensatz zu ihm muss ich behaupten, dass Alles eher gegen, als für eine irgend nennenswerthe Mitwirkung derselben bei der Athmung spricht. In der That ist nicht abzusehen, wie etwa eine peristaltische Bewegung in den Bronchien den Gasaustauch befördern soll, und WUNDT's Vergleich mit der Darmmusculatur und der Bauchpresse hinkt jedenfalls. Bei der Fortbewegung der Darmcontenta thut die Darmmusculatur eben Alles, die Bauchpresse kommt nur in Action, wo die Contenta schon am Ende des Darmtractus angelangt sind und nach Aussen befördert werden sollen. Bei der Athmung aber, wo es sich um die Bewegung einer Gasmasse handelt, würde eine Contraction der Ringmuskelfasern der Bronchien gar Nichts nützen, eher noch durch Verengerung des Lumen schaden. Auch ist gar nicht einzusehen, wie die Contraction der glatten Muskelfasern zu Stande kommen soll, da die Lungen luftdicht in den Thorax eingefügt sind und sich nicht von dessen Wand entfernen können. Eine genügende Kraft aber, die Brustwand einwärts zu ziehen, wird man diesen Muskeln schwerlich zuschreiben. Höchstens könnte das Zwerchfell etwas mehr als durch die blosse Elasticität der Lungen nach oben gezogen werden. Wie dem aber auch sei, hier handelt es sich nicht um eine Untersuchung über den Nutzen der Bronchialmusculatur, sondern um die Frage, ob die Lähmung derselben (vorausgesetzt, dass sie wirklich vom Vagus versorgt und also bei Durchschneidung desselben gelähmt wird) irgend einen Einfluss auf den Mechanismus der Athembewegungen

haben kann. Diese Frage kann wohl entschieden verneint werden. Die Wirkung des Zwerchfells und der übrigen Respirationsmuskeln auf Ausdehnung der Lungen kann gewiss nicht durch jene Lähmung gehemmt werden; es ist also nicht einzusehen, weshalb die Art und Weise ihrer Wirkung dadurch geändert werden sollte. Endlich muss noch die Möglichkeit in Betracht gezogen werden, dass durch die mit der Vagusdurchschneidung nothwendig verbundene Aenderung in der Schlagfolge des Herzens die Veränderung der Athembewegungen bedingt sein könnte. Aber auch diese Annahme ist unhaltbar. Einerseits nämlich wird ja unmittelbar nach der Vagusdurchschneidung der Druck im Arteriensystem vermehrt, also die Geschwindigkeit des Blutstroms in den Capillaren vergrössert, was allem Anschein nach nur zu einer vermehrten Reizung der Medulla oblongata führen könnte. Dem entgegen haben wir gefunden, dass die von der Medulla geleistete Arbeit im Wesentlichen ungeändert bleibt, während die so wesentlich geänderte Vertheilung jener Leistung auf die einzelnen Athemzüge von der geänderten Stromgeschwindigkeit des Blutes schwerlich bedingt sein kann. Andrerseits hat Reizung der peripherischen Vagusenden, durch welche die Thätigkeit des Herzens wieder zur Norm gebracht werden kann, gar keinen Einfluss auf den Athemmechanismus, worauf wir an einer späteren Stelle noch zurückkommen werden.

Lassen uns so die centrifugalleitenden Zweige des Vagus im Stich, so müssen wir sehen, wie weit wir durch eine Verfolgung der sensibelen, centripetalleitenden Fasern dieses Nerven kommen. Wir gelangen so nothgedrungen zum Studium der Erscheinungen im Gebiete der Respirationsbewegungen, welche bei Reizung des centralen Vagusendes auftreten, eine Untersuchung, mit welcher wir uns in den folgenden Capiteln beschäftigen wollen.

Diese centripetalleitenden Fasern sind übrigens schon sehr früh zur Erklärung herangezogen worden. Welche wichtige Rolle ihnen Marshall Hall zuschrieb, haben wir im Eingange

des zweiten Capitels erwähnt. Andererseits behauptete BRACHET, dass diesen Fasern die Vermittelung des Athembedürfnisses zufalle, dass dieses also nach Durchschneidung der Vagi aufhöre. Dieser Behauptung trat jedoch VOLKMANN entgegen, indem er zeigte, dass Thiere nach Durchschneidung der Vagi ganz dieselben Erscheinungen zeigten, wenn man ihnen die Trachea verschloss, als unverletzte; nämlich sehr gewaltsame Bewegungen des Brustkastens, Aufsperren des Maules, Strecken des Halses, Verstärkung der accessorischen Athembewegungen von Nase und Lippen, grosse Unruhe, endlich heftige Convulsionen. Ich kann diese Angaben nach meinen eigenen Beobachtungen nur bestätigen, obgleich ich fand, dass alle diese Erscheinungen längere Zeit nach der Vagusdurchschneidung auffallend später eintreten, als bei normalen Thieren, worauf schon oben hingewiesen wurde. Meiner Meinung nach beweisen jedoch alle diese Erscheinungen nicht das, was sie beweisen sollen, nämlich dass auch nach Durchschneidung der Vagi das Gefühl der Athemnoth noch fortdauere. Denn alle diese Wirkungen können ebenso erklärt werden durch eine heftigere Erregung der Centralorgane durch das an Sauerstoff verarmte Blut, ohne dass deswegen die Empfindung des Athembedürfnisses vorhanden zu sein braucht. Dies wird noch wahrscheinlicher und fast zur Gewissheit erhoben durch den Umstand, dass auch nach Exstirpation des Grosshirns ein Respirationshinderniss dieselben Erscheinungen hervorruft. Da nun in diesem Falle von keinem „Gefühl der Athemnoth“ die Rede sein kann, so ist auch nothwendiger Weise nicht gestattet, aus jenen Erscheinungen zu schliessen, dass nach Durchschneidung der Vagi jenes Gefühl erhalten sei. Wir müssen vielmehr diese Frage als eine offene betrachten, welche auf dem Wege der Vivisection nicht zu entscheiden ist, da uns die Thiere über ihre Gefühle keine Mittheilungen machen können. Es handelt sich vielmehr für uns nur darum, ob nach Vagusdurchschneidung Eingriffe im Gebiete des Respirationsapparats nicht vielleicht dennoch zu weniger inten-

siven Folgeerschcinungen führen, als vorher. Sollte dies der Fall sein, so würden wir vermuthen können, dass solche Eingriffe im normalen Zustande durch Vermittelung der Vagi auf das Centralorgan der Athembewegungen einwirken. Dies scheint nun in der That der Fall zu sein, wenn wir die Respirationsfrequenz ins Auge fassen. Jede Verkleinerung der Respirationsfläche, wie sie z. B. durch Anbringung eines einseitigen Pneumothorax oder in geringerem Grade durch Einspritzung geringer Flüssigkeitsmengen in eine Pleurahöhle bewirkt wird, hat bekanntlich bei Thieren mit erhaltenen Vagis eine bedeutende Steigerung der Respirationsfrequenz zur Folge. Macht man jedoch denselben Eingriff bei einem Thiere mit durchschnittenen Vagis, so sieht man immer nur eine sehr geringe Vermehrung der Respirationsfrequenz. Dieses zeigt sich z. B. in dem folgenden Versuch, wo nach Durchschneidung beider Vagi und Anstechung einer Pleurahöhle die Zahl der Athembewegungen noch bedeutend unter der ursprünglichen blieb.

Versuch. Kleines, graues Kaninchen, auf dem Rücken befestigt: . . . . . 31 Athmgn. in 30 Sec.
Nach Durchschneidung beider Vagi . 11 „ „ 30 „
Nach Anstechung des linken Thorax. 19 „ „ 30 „

Aehnliche Versuche führt Traube an.[1]) Auch der Modus der Respiration, welcher sonst nach Setzung eines Respirationshindernisses so wesentlich geändert wird, wird nur wenig geändert, wenn vorher die Vagi durchschnitten waren. Nun beweist dies allerdings nicht allzuviel, da der Respirationsmodus nach Vagusdurchschneidung, abgesehen von der Frequenz, eben schon einen ähnlichen Character hat, wie bei einem Respirationshinderniss. Um so wichtiger erscheint eben die geringe Frequenz. Sie beweist, dass durch Vermittelung der Vagi im normalen Zustande fortdauernd ein Einfluss auf die Medulla oblongata ausgeübt wird, welcher die Respirationsfrequenz steigert, und es wäre

[1]) Beiträge II. 142 ff.

möglich, dass dieser Einfluss dem Grade nach wechseln könne, je nach dem mehr oder weniger intensiven Gaswechsel in den Lungen. Es würde also dann in den Vagis ein zweites Mittel gegeben sein zur Regulirung der Athembewegungen ausser der directen Einwirkung des Blutes auf die Medulla oblongata, welche wir im ersten Capitel nachgewiesen haben. Sind die Vagi durchschnitten, so kann ein solcher Einfluss natürlich nur auf anderem Wege zu Stande kommen, sei es durch directe Wirkung des in seinem Gasgehalt schwankenden Blutes auf die Medulla oblongata, sei es durch Vermittelung anderer Nerven. In dieser Beziehung hat Volkmann, wie mir scheint mit vollem Recht, auf die Hautnerven aufmerksam gemacht. Wie beträchtlich der Einfluss dieser ist, haben wir schon im ersten Capitel gesehen. Es ist hier nicht der Ort, diese Beziehung zwischen Hautnerven und Athmung weiter zu verfolgen, uns kam es nur darauf an, zu zeigen, dass es auch ausser den Vagis Wege giebt, auf welchen Eindrücke zum Centrum der Athembewegungen gelangen können. Dadurch sind aber alle Einwürfe, welche man aus den dyspnoëtischen Erscheinungen nach Vagusdurchschneidung gegen eine Einwirkung seiner centripetalleitenden Fasern auf das Centrum der Athembewegungen hat schöpfen wollen, von selbst widerlegt.

Leider ist es nicht möglich, diese Versuche mit Bezug auf die Athmungsgrösse anzustellen, da ein einmal gesetztes Respirationshinderniss sich nicht wieder beseitigen lässt, wie es doch nöthig wäre, um die Wirkung desselben vor und nach Vagusdurchschneidung zu vergleichen. Wir müssen es daher unentschieden lassen, ob die Vagi im Stande sind, auch auf die Stärke der einzelnen Athemzüge in der Weise regulirend einzuwirken, wie der Gasgehalt des Blutes, nämlich zugleich mit der Zahl auch die Tiefe der Athemzüge in Folge eines Respirationshindernisses zu vermehren. Die Erfahrungen, welche wir bei Durchschneidung der Vagi gemacht haben, scheinen dagegen zu sprechen. Denn käme den Vagis diese Fähigkeit zu, so

müssten sie dieselbe im normalen Thiere ebenfalls ausüben, da ja Dyspnoe Nichts ist, als ein höherer Grad des stets vorhandenen Sauerstoffmangels. Aber dann hätte eine Abnahme der Athmungsgrösse nach Vagusdurchschneidung sich zeigen müssen, was doch nicht der Fall ist. Dann wäre die beträchtliche Steigerung der Athemtiefe nach Vagusdurchschneidung unerklärlich. Alles dies spricht dafür, dass die Einwirkung der Vagi sich hauptsächlich auf die Zahl der Athemzüge erstreckt, dass aber die Vergrösserung der Athmungstiefe in den dyspnoëtischen Zuständen auf anderen Wegen vermittelt wird, wahrscheinlich nur auf dem Wege der directen Reizung durch das Blut. Da nun aber eine Vermehrung der Athemzahl ohne Mitwirkung der Vagi durch Respirationshindernisse ebenfalls zu Stande kommen kann, so ist jedenfalls die Rolle dieser Nerven in Bezug auf die Dyspnoe nicht zu hoch anzuschlagen. Erst eine durch das Studium der Erscheinungen bei Vagusreizung vervollständigte Kenntniss der Thatsachen wird gestatten, diese Rolle genauer zu definiren.

Eine auffallende Erscheinung in dieser Beziehung ist der geringe Einfluss, welchen die Durchschneidung nur eines Vagus ausübt. Wir sehen dasselbe auch bei der Wirkung des Vagus auf das Herz. Wie hier die Durchschneidung eines Vagus die Frequenz der Herzschläge meist ungeändert lässt, so bleiben auch Frequenz und Modus der Athembewegungen nach einseitiger Vagusdurchschneidung fast unverändert. Zwar berichtet Bernard, gesehen zu haben, dass bei einem Kaninchen nach einseitiger Vagusdurchschneidung die Athembewegungen dieser Seite schwächer wurden, und dass eine vor das Nasenloch derselben Seite gehaltene Feder fast gar nicht bewegt wurde.[1]) Aber gerade dieser letztere Zusatz macht es mehr als wahrscheinlich, dass hier irgend ein nicht zur Beobachtung gekommener Umstand mitgewirkt haben muss. Denn wenn auch die

[1]) Système nerveux II. 410.

Athembewegungen der Seite, wo der Vagus durchschnitten ist, schwächer würden, was ausser BERNARD Niemand angiebt, und was mir niemals zur Beobachtung kam, was sollte dann, da sich doch die Druckunterschiede der beiden Seiten schon in der Luftröhre ausgleichen müssen, die Luft bewegen, nur durch das andere Nasenloch zu streichen?

Wir müssen also annehmen, dass jene dauernde Einwirkung, welche durch die Vagi auf die Medulla oblongata ausgeübt wird, nach Durchschneidung eines Vagus durch den anderen in demselben Maasse ausgeübt werden kann, als vorher durch beide, gerade wie es sich beim Herzen auch verhält mit dem regulirenden Einfluss, welcher dauernd in centrifugaler Richtung von der Medulla oblongata zum Herzen durch andre Fasern desselben Nerven gelangt. Die Verflechtung beider Nerven vor ihrer Einsenkung in Herz und Lungen und die Verbindung beider mit einem und demselben Centralorgan lassen uns dieses Verhalten bis zu einem gewissen Grade begreifen.[1])

Schliesslich muss ich noch einer Angabe BERNARD's erwähnen, wonach Durchschneidung beider Vagi in der Schädelhöhle augenblicklichen Tod zur Folge hat, ohne Zeichen von Suffocation.[2]) Ich habe den Versuch nicht wiederholt, da er mit grossen Schwierigkeiten verknüpft und, wie ich glaube, doch nicht beweiskräftig ist. Alle die Mängel, welche BERNARD mit Recht

---

[1]) Nach SCHIFF (Lehrbuch der Physiologie 323f.) ist das Centralorgan der Athembewegungen paarig, und die Centra beider Körperhälften sind durch eine graue Zwischenmasse verbunden, welche die normale Harmonie der Athembewegungen auf beiden Seiten vermitteln soll. Danach müsste man annehmen, dass entweder jeder Vagus mit beiden Centren in wirksamer Verbindung steht, oder dass eben jene graue Substanz die von einem Vagus ausgeübte Einwirkung von dem einen Centrum auf das andere übertrage. Versuche über die Wirkung einseitiger Vagusdurchschneidung oder Reizung nach Entfernung jener grauen Zwischenmasse scheint SCHIFF nicht angestellt zu haben.

[2]) Système nerveux II. 409.

den Versuchen BISCHOFF's über den Accessorius zuschreibt, treffen auch die Durchschneidung des Vagus in der Schädelhöhle. Der operative Eingriff ist an sich zu gross, als dass die nach ihm angestellten Beobachtungen grossen Werth beanspruchen könnten. Beim Accessorius hat uns BERNARD durch seine schöne Methode des Ausreissens diese Fehlerquelle vermeiden gelehrt. Beim Vagus würde ein ähnliches Verfahren ihn vielleicht auch zu einem anderen Ergebniss geführt haben.

Die Unterschiede, welche der Athemmechanismus zeigen soll, je nachdem die Vagi am Halse oder in der Schädelhöhle durchschnitten worden sind, können, wie es scheint, doch nur bedingt sein in der gleichzeitigen Lähmung der Fasern des Laryngeus superior im ersteren Falle, und der Schonung der aus dem Accessorius stammenden Fasern im anderen Falle. Da der letztere Nerv, wie BERNARD selbst angiebt, keinen Einfluss auf die Athembewegungen ausübt, so kann auch seine Erhaltung keine wesentliche Aenderung im Erfolge der Vagusdurchschneidung bedingen. Den Laryngeus superior aber kann man ja neben dem Vagus am Halse durchschneiden, oder auch beide gemeinschaftlich oberhalb des Abganges des Laryngeus vom Vagusstamm. Ich habe dies zu wiederholten Malen ausgeführt und kann nicht sagen, dass die Erscheinungen wesentlich dadurch geändert würden. Fig. 4, Taf. II giebt einen Beleg hierfür, da in diesem Falle vor Durchschneidung der Vagi beide Laryngei superiores waren durchschnitten worden.

Wir müssen also bei der Annahme stehen bleiben, dass zur Erregung der Athembewegungen eine Einwirkung peripherischer Nervenfasern auf die Ganglien des noeud vital nicht nothwendig sei, dass diese vielmehr allein durch das Blut zur Thätigkeit angeregt werden, wie wir dies schon im ersten Capitel als eine nothwendige Folgerung aus den bisher bekannten Thatsachen nachzuweisen suchten. Wir müssen aber auch annehmen, dass durch Vermittelung centripetalleitender Fasern, welche in den Vagis enthalten sind, Aenderungen in der Thätigkeit

jener Ganglien zu Stande kommen, Aenderungen, welche weniger den Grad, als vielmehr hauptsächlich die Vertheilung jener Thätigkeit auf einzelne rhythmisch auf einander folgende Athemzüge betreffen. Eine beträchtliche Einwirkung auf den Grad der Thätigkeit scheint zwar bei Vögeln (Tauben) im normalen Zustande unleugbar. Bei Säugethieren aber ist sie zum Mindesten zweifelhaft. Denn wenn auch in einzelnen Fällen nach Vagusdurchschneidung eine Abnahme der Athmungsgrösse beobachtet wird, so sieht man doch in anderen Fällen gar keine Aenderung, in noch anderen sogar eine Zunahme. Diese letztere kann, wie wir gesehen haben, nicht so aufgefasst werden, als ob im normalen Zustande durch Einwirkung der Vagi die Thätigkeit des respiratorischen Centrum vermindert werde. Sie erklärt sich füglich auch als eine nur secundäre Wirkung der in Folge der veränderten Athmung gesteigerten Reizung. Wenn so die Annahme einer stetigen erregenden Einwirkung der Vagi auf das respiratorische Centrum im normalen Säugethiere unstatthaft wird, so folgt daraus nicht, dass dieselben einer solchen gar nicht fähig seien. Hierüber kann nur die künstliche Erregung der Vagi Aufschluss geben. Sollte diese eine solche darthun, so lässt sich nicht bezweifeln, dass sie auch im Organismus unter Umständen zur Geltung kommen wird. Mit dieser Frage werden sich die folgenden Capitel beschäftigen. Erst nach Lösung derselben wollen wir dann auch versuchen zu erforschen, worin der andere, stets vorhandene Einfluss besteht, durch welchen die Vertheilung der in der Medulla oblongata entwickelten Thätigkeit auf eine bestimmte Zahl von Athemzügen geregelt wird.

SIEBENTES CAPITEL.

Verhalten des Zwerchfells bei Reizung des centralen Vagusstumpfes.

Die Veränderungen, welche in den Athembewegungen nach Durchschneidung der Vagi eintreten, haben uns zu dem Schluss geführt, dass in diesen Nerven centripetalleitende Fasern enthalten seien, welche fortwährend eine Einwirkung auf das nervöse Centralorgan der Athembewegungen ausüben, so zwar, dass daraus eine bestimmte Frequenz der Athemzüge resultirt, aber auch eine Regulirung in der Stärke der Athembewegungen, welche möglicher Weise von der Intensität des Gaswechsels in der Lunge abhängt. Diese Einwirkung sollte aber nicht so aufgefasst werden, als werde durch sie die Summe der in der Zeiteinheit von der Med. obl. geleisteten Arbeit vermehrt, da diese Arbeit, gemessen durch die Athmungsgrösse, nach Durchschneidung beider Vagi nicht vermindert erscheint. Eine Bestätigung dieses Schlusses und eine genauere Kenntniss dieser Einwirkung können wir jedoch nur durch den directen Versuch erlangen, wenn wir die sonst in den Lungen auf die peripherischen Enden jener Nerven ausgeübte Reizung durch künstliche Reizung der Nervenstämme ersetzen. Dies führt uns zu den Versuchen, welche seit Traube so oft angestellt wurden und welche, wie wir im zweiten

Capitel sahen, zu so widersprechenden Resultaten geführt haben. Wir haben dann im dritten Capitel versucht, eine Lösung dieser Widersprüche anzubahnen. Dabei hat sich uns als sehr wahrscheinlich ergeben, dass der eigentliche und wahre Erfolg der Reizung des centralen Vagusendes Contraction des Zwerchfells sei (über die übrigen Respirationsmuskeln sind die vorhandenen Angaben zu mangelhaft, um aus ihnen einen bestimmten Schluss zu ziehen) und dass die in einzelnen Fällen auftretende Erschlaffung des Zwerchfells nur Folge einer Complication sei. Als eine solche Complication bot sich uns die Erregung des Laryngeus superior durch unipolare Abgleichung der freien Electricität dar. In der That haben die im fünften Capitel mitgetheilten Versuche dargethan, dass Reizung des centralen Endes eines oder beider Laryngei superiores constant Erschlaffung des Zwerchfells zur Folge habe. Es handelt sich jetzt darum, durch den directen Versuch zu prüfen, ob jene Schlüsse richtig waren.

Die Reizung des centralen Vagusendes kann entweder auf einer Seite allein oder auf beiden zugleich vorgenommen werden. Im ersteren Falle kann der Vagus der anderen Seite entweder unverletzt oder ebenfalls durchschnitten sein. Aus Gründen, welche schon bei den Versuchen am Laryngeus entwickelt wurden, nehmen wir die Reizung niemals am undurchschnittenen Nerven vor, da in diesem Falle die Erregung niemals auf den bestimmten Nerven isolirt bleibt. Da wir im vorigen Capitel gesehen haben, dass nach Durchschneidung nur eines Vagus die Athmung nicht wesentlich geändert wird, dass also der eine Vagus allein die sonst durch beide vermittelte Einwirkung zu leiten vermag, so haben wir hierdurch das Mittel, zu untersuchen, wie sich die künstliche Erregung des centralen Vagus verhält, wenn der normale Einfluss aufgehoben ist, und wie, wenn dieser noch besteht und ausserdem die künstliche Erregung hinzutritt.

Bei der Reizung des Nerven sind natürlich ganz dieselben Vorsichtsmassregeln anzuwenden, welche wir schon bei der Laryngeusreizung besprochen haben, um eine sichere Isolirung des

Reizes auf den direct zwischen den Electroden befindlichen Theil zu erhalten. Diese Isolirung ist beim Vagus viel leichter zu erreichen, da der Nerv länger ist, und daher eine grössere Entfernung der Electroden von dem Thier gestattet. Ich habe, um ohne Gefahr möglichst grosse Stromstärken anwenden zu können, den Nerven stets möglichst tief durchschnitten und nach oben bis an den Abgang des Laryngeus superior freipäparirt. Die stromzuführende Vorrichtung und die Art der Auflegung des Nerven auf dieselbe, war ganz so, wie es beim Laryngeus superior angegeben wurde. Der Nerv wurde während der Reizung stets möglichst hoch aus der Wunde herausgehoben und die Electroden etwa in der Mitte der freipräparirten Strecke an denselben angelegt. In den Pausen zwischen den Reizungen wurde er zur Verhütung der Austrocknung in seine normale Lage zurückgebracht. Die Austrocknung und der Verlust der Erregbarkeit sind natürlich hier viel weniger zu fürchten, als beim Laryngeus superior, wegen der grösseren Dicke des Nervenstammes. Ueberhaupt gehört die Reizung des Vagus zu den leichtesten, wie die des Laryngeus zu den schwersten Aufgaben der vivisectorischen Physiologie. Um so wunderbarer ist es, wie der Erfolg dieses Versuches zu so widerstreitenden Behauptungen hat Veranlassung geben können.

Zur Reizung des Nerven diente derselbe Magnetelectromotor, wie bei der Reizung des Laryngeus superior, als erregende Kette stets ein Daniell'sches Element. Von der Anwendung der Helmholtz'schen Anordnung am Magnetelectromotor nahm ich hier zuweilen Abstand, da die Gefahr unipolarer Ableitungen bei Reizung des Vagus bedeutend geringer ist, so dass diese auch bei gewöhnlicher Anordnung vermieden werden können, wenn man nur die sonstigen Vorsichtsmassregeln nicht versäumt. Ich wollte mich daher des Vortheils nicht berauben, energischere Reize anwenden zu können, deren man auch in der That bei der Vagusreizung häufiger bedarf. Die Zahlenangaben über den Abstand der beiden Rollen sind daher in den verschie-

denen Versuchen untereinander nicht vergleichbar, sondern haben immer nur für einen und denselben Versuch den Werth, zu zeigen, wie sich das Verhalten bei verschiedener Stärke der Reizung ändert. Die Zuleitung der Ströme geschah natürlich, stets mit Hülfe des „Schlüssels zum Tetanisiren."

Reizt man in der angegebenen Weise das centrale Ende eines Vagus, während der andere noch erhalten ist, mit Inductionsströmen von mittlerer Stärke, so sieht man stets, dass das Zwerchfell sich contrahirt und, wenn die Reizung nicht zu lange andauert, auch während der ganzen Reizungszeit im contrahirten Zustande verharrt. Hört man dann mit der Reizung auf, so bleibt es meist noch eine kurze Zeit contrahirt, erschlafft dann und beginnt seine Bewegungen von Neuem, erst schnell, dann allmählich in das vor der Reizung innegehaltene Tempo übergehend. Wie lange die Nachwirkung der Reizung dauert, hängt theils von der Dauer, theils von der Stärke der Reizung ab. Sie wächst im Allgemeinen mit der letzteren und innerhalb gewisser Grenzen auch mit der ersteren. Wird die Dauer der Reizung aber sehr gross, so können zwei Fälle eintreten: entweder erschlafft das Zwerchfell ganz allmählich während der Reizung und kommt zuletzt ganz in den Zustand der tiefsten Exspiration, so dass die nächste Bewegung, welche man noch während oder nach der Reizung sieht, nicht eine Erschlaffung, sondern eine Zusammenziehung des Zwerchfells ist; oder aber das Zwerchfell geräth, nachdem es eine Zeit lang contrahirt war, plötzlich wieder in Bewegung; es macht dann, noch während der Dauer der Reizung, ganz kleine und häufige Bewegungen, welche allmählich langsamer und zugleich tiefer werden und zuletzt wieder in die vor der Reizung bestandene Form übergehen. Welcher von diesen beiden Fällen eintritt, hängt, wie ich glaube, von der Erregbarkeit des Vagus und der Zwerchfellsmuskeln, so wie von der Stärke der Erregung ab, aber gewiss auch von dem jeweiligen Erregungszustand der Medulla oblongata. Ist der Vagus sehr erschöpfbar und die Reizung stark, so ermüdet

er früher als das Zwerchfell; er kann bald nicht mehr den vollen Einfluss auf die Medulla oblongata ausüben, unter deren Wirkung das Zwerchfell zu dauernder Contraction veranlasst wird. Dieses beginnt daher seine Bewegungen wieder, aber unter dem Einfluss der noch immer, wenn auch in schwächerem Grade, fortdauernden Reizung in beschleunigtem Rhythmus, der allmählich zur Norm zurückkehrt. Ist aber der Vagus kräftig und die Reizung nicht so stark, um ihn schnell zu erschöpfen, so ermüden die zu dauernder Contraction angeregten Muskeln des Zwerchfells allmählich und verlängern sich langsam unter dem Zuge der elastischen Lungen, gerade wie ein tetanisirter Muskel sich unter dem Zuge eines angehängten Gewichtes verlängert; wenn dann die Reizung, sei es durch die schliesslich auch erfolgende Erschöpfung des Vagus, sei es durch die Willkür des Experimentators unterbrochen wird, so ist das Zwerchfell unterdess ganz erschlafft und beginnt später seine Bewegungen wieder mit einer Contraction. Ausserdem aber kann es natürlich nicht gleichgültig sein, wie stark der Bewegungsantrieb ist, welchen das Zwerchfell, abgesehen von der Vagusreizung, durch die Medulla oblongata erhält. Es scheint ganz selbstverständlich, dass wenn dieser Bewegungsantrieb schon an und für sich gross ist, die Stärke und Dauer der Zusammenziehung grösser ausfallen müssen, als in anderen Fällen. Dies findet sich auch in der That bestätigt. Waren die Bewegungen des Zwerchfells schon vor der Reizung stark und häufig, so kann man es durch Vagusreizung auch in lange andauernde stetige Zusammenziehung versetzen.

Ist die Reizung nicht stark genug, um dauernden Stillstand zu erzielen, so sieht man auf Reizung des einen centralen Vagusendes, wenn der andere noch erhalten ist, wol auch Beschleunigung der Respiration eintreten; dieselbe ist aber nie beträchtlich und springt bei nur geringer Verstärkung der Reizung in einen Stillstand in Contraction über, der freilich nur sehr kurze Zeit anhält. Dieser Stillstand kann dann auch nach einiger

Zeit, während die Reizung noch fortdauert, auf einen Moment wiederkehren, und man erhält so, wenn man nur die grossen Contractionen oder vielmehr sehr kurz dauernden Stillstände in Contraction zählt, eine scheinbare Verlangsamung der Respiration. In Wahrheit aber handelt es sich hier um eine wirkliche Beschleunigung, wie auch Snellen und Budge richtig erkannt haben. Denn es ist klar, dass man in diesen Fällen die Pausen nicht zur Zählung benutzen, sondern nur die Zeiten, wo die kleinen häufigen Contractionen erfolgen, für sich berücksichtigen darf. Schwächt man aber den Strom noch mehr ab, so bleibt sofort jede Wirkung aus. Es ist also die Stromstärke, welche Vermehrung der Respirationsfrequenz bei Reizung eines centralen Vagusendes und Unversehrtheit des anderen Vagus giebt, innerhalb sehr enger Grenzen eingeschlossen, und die Vermehrung selbst ist niemals beträchtlich.

Wie stark die Reizung sein muss, um Stillstand des Zwerchfells zu bewirken, lässt sich natürlich nicht absolut bestimmen. Nicht blos, dass beträchtliche Schwankungen von einem zum anderen Thiere vorkommen, auch bei demselben Thiere ändert sich die Wirkung mit der Ermüdung und Erholung des Nerven und anderen Umständen, die sich nicht immer im Einzelnen verfolgen lassen. Im Allgemeinen muss jedoch gesagt werden, dass die Inductionsströme viel stärker sein müssen, um durch Vagusreizung Stillstand des Zwerchfells in Contraction zu erzielen, als bei Laryngeusreizung zur völligen Erschlaffung nöthig ist. Dies hängt gewiss nicht von dem grösseren Querschnitt des Vagus ab, denn bei dem geringen Widerstand, welchen die secundäre Spirale des Magnetelectromotor und die Leitungsdrähte im Vergleich zum Nerven haben, ist die Stromdichte in letzterem gewiss vom Querschnitt ganz unabhängig. Ich glaube vielmehr den Grund darin suchen zu müssen, dass ein viel grösserer Aufwand von Kräften erforderlich ist, das Zwerchfell dauernd in Contraction zu erhalten, als um den Bewegungsantrieb zu unterdrücken, welcher im normalen Zustande in rhythmischer

Folge in der Medulla oblongata entsteht. Daraus lässt sich nun auch begreifen, wie die verhältnissmässig schwache Reizung, welche bei schlechter Zuleitung der Ströme zum Vagus auf dem Wege unipolarer Stromabgleichung zu den Fasern des Laryngeus gelangt, im Stande ist, trotz der gleichzeitig vorhandenen Vagusreizung dennoch Erschlaffung des Zwerchfells zu bewirken. Man kann sich von diesem Verhältniss sehr gut überzeugen, wenn man Vagus und Laryngeus derselben Seite präparirt und beide neben einander auf dieselben Electroden legt. Hier, wo beide Nerven genau mit denselben Strömen gereizt werden, erhält man bei mittelstarken Strömen stets Erschlaffung des Zwerchfells, und erst bei Anwendung sehr starker Ströme kommt es vor, dass bald Erschlaffung, bald Contraction des Zwerchfells eintritt, je nachdem durch Verhältnisse, welche sich nicht immer genauer ermitteln lassen, der eine oder der andere Nerv in seiner Wirkung überwiegt.

Es entsteht nun aber die andere Frage: wie weit kann man mit der Verstärkung des Stromes bei Vagusreizung vorgehen, ohne dass die Contraction des Zwerchfells in Erschlaffung umschlägt? Nach v. Helmolt und nach Aubert und v. Tschischwitz soll regelmässig bei Reizung mit sehr starken Strömen „Stillstand in Exspiration“ oder Erschlaffung des Zwerchfells erfolgen. Ich habe schon im dritten Capitel bemerkt, dass dies im Allgemeinen richtig sei, dass aber das Umschlagen der einen Form in die andere von Zufälligkeiten abhänge, die der Experimentator nicht immer in seiner Hand habe. So gelingt es zuweilen sehr leicht und bei verhältnissmässig schwachen Strömen Erschlaffung des Zwerchfells zu erzielen, während in anderen Fällen selbst die mächtigsten Ströme Contraction des Zwerchfells bewirken. Dieses spricht gewiss sehr dafür, dass die Erschlaffung des Zwerchfells Folge der Laryngeuserregung durch unipolare Stromabgleichung sei. Verfährt man wie Aubert und v. Tschischwitz wenigstens in einem Theil ihrer Versuche, reizt man nämlich den Vagus, ohne ihn zu durchschneiden, so

versteht es sich von selbst, dass Stromschleifen durch den Laryngeus gehen, und es wird also bei allmählicher Verstärkung der Ströme nothwendiger Weise immer ein Moment eintreten, wo die Laryngeusreizung stark genug wird, um die Vagusreizung zu überwiegen. Hieraus würde sich erklären, warum AUBERT und v. TSCHISCHWITZ das Umschlagen der Contraction in Erschlaffung so regelmässig eintreten sahen. Hat man aber den Nerven am peripherischen Ende durchschnitten und möglichst sorgfältig isolirt, so hängt es von sehr vielen Umständen ab, ob unipolare Stromabgleichungen eintreten, von denen die Stromstärke allein also nicht bestimmend sein kann. Besonders bei Anwendung der HELMHOLTZ'schen Modification am Magnetelectromotor ist die Gefahr vor solchen sehr gering, und es erklärt sich daher, weshalb man selbst bei Anwendung sehr starker Ströme noch Contractionen des Zwerchfells sieht.

Damit ist nun aber durchaus noch nicht gesagt, dass die Erschlaffung des Zwerchfells bei Vagusreizung stets und unter allen Umständen Folge unipolarer Stromabgleichungen sei. Dieses wäre im Gegentheil erst dann als erwiesen anzusehen, wenn allemal, so oft bei Vagusreizung Erschlaffung des Zwerchfells eintritt, diese auch dann noch bestehen bleibt, wenn der Vagus jenseits der unteren Electrode durchschnitten und wieder zusammengeklebt worden ist. Dies habe ich nun freilich so oft gesehen, dass ich es entschieden als die Regel betrachten muss, und ich stehe daher nicht an, zu behaupten, dass die Reizung des centralen Endes eines am Halse durchschnittenen Vagus die Medulla oblongata zu einer dauernden Innervation der Nn. phrenici anrege, deren Folge eine dauernde tetanische Contraction der Zwerchfellsmuskeln ist.

Existiren also im Vagus unterhalb des Laryngeus superior gar keine Fasern, deren Reizung auch das Gegentheil, nämlich Erschlaffung des Zwerchfells bewirken kann? Schon TRAUBE, der Entdecker der Thatsache, welche wir soeben gegen die ab-

weichenden Behauptungen anderer Forscher bestätigt haben, bejahte stillschweigend jene Frage. Er nahm an, dass im Vagus auch Gefühlsfasern gewöhnlicher Art enthalten seien, „deren Reizung Schmerz und exspiratorische Bewegungen (bei Vorhandensein der Hemisphären)“ auslöse. Da wir nun aber jetzt wissen, dass im Laryngeus superior Fasern enthalten sind, deren Reizung auch bei narcotisirten Thieren Erschlaffung des Zwerchfells zur Folge hat, eine Erschlaffung, welche also nicht blos als eine durch den Schmerz verursachte Exspiration anzusehen ist, so entsteht die Nothwendigkeit, jene von TRAUBE stillschweigend gemachte Annahme nochmals zu prüfen, um zu entscheiden, ob es sich dabei wirklich nur um Folgen der Schmerzempfindung handele. Schliessen wir diese aus, indem wir die Thiere narcotisiren, oder ihnen das Grosshirn exstirpiren, so zeigt sich fast immer dauernde Contraction des Zwerchfells als Folge der Vagusreizung. Dieser Erfolg wird nun aber im Ganzen nicht wesentlich geändert, wenn die Thiere im vollen Besitz ihres Sensorium sind. Zwar kommt es vor, wie schon LINDNER beobachtet hat, dass dann zuweilen im Anfange der Reizung eine heftige Exspiration erfolgt, und erst dann die tetanische Contraction des Zwerchfells eintritt. Aber viel öfter fehlt auch jene anfängliche Exspiration. Ich kann nicht umhin einen Theil dieser Unbeständigkeit auf den Umstand zu schieben, dass andere Forscher sich nicht des Schlüssels bedient haben, sondern den Magnetelectromotor jedesmal erst in Gang setzten, wenn die Reizung beginnen sollte. Das dadurch verursachte Geräusch bewirkt bei den so furchtsamen Kaninchen, wenn sie nicht narcotisirt sind, jedesmal ein Zusammenbeben mit momentanem Stillstand der Respiration im Zustande der Erschlaffung oder Exspiration. Die ungenauen Angaben der meisten Forscher lassen leider nicht immer entscheiden, wie viel auf solche, zwar geringfügig erscheinende, aber oft sehr wichtige Nebenumstände zu schieben ist. Es ist dies ein Grund mehr, warum man sich bei Vivisectionen stets des Schlüssels oder einer ähnlichen Vor-

richtung bedienen muss. Hat man alle Vorsichtsmaassregeln befolgt, so wird man finden, dass die Erfolge der Vagusreizung am wachen Thiere genau dieselben sind, wie am narcotisirten oder des Grosshirns beraubten. Es handelt sich hier eben, wie überall im thierischen Organismus, um einen ganz bestimmten Mechanismus, dessen Spiel durch das Eingreifen von Nebenumständen, wie die Einwirkungen des Sensorium sind, zwar zuweilen gestört, aber niemals geändert werden kann.

Schliesst man solche Störungen aus, und kommen dann bei wirklich auf den Vagus isolirter Reizung trotzdem Fälle vor, wo das Zwerchfell vorübergehend oder dauernd erschlafft, was ich, wie schon bemerkt, niemals habe mit voller Sicherheit feststellen können, so bleibt allerdings Nichts übrig, als auf andere im Vagus noch enthaltene Fasern zurückzugehen. Wir kommen jedoch dabei auf die Schwierigkeit, dass schmerzerregende Fasern, welche doch hierbei zunächst in Betracht zu ziehen wären, im Vagus unterhalb des Laryngeus superior nicht mit voller Sicherheit nachzuweisen sind. In der That sieht man häufig die heftigste Zerrung oder die Durchschneidung dieses Nerven ganz unbeantwortet bleiben, während in anderen Fällen deutliche Empfindlichkeit sich herauszustellen scheint. Bernard glaubt einen Zusammenhang zwischen dem Wechsel in der Empfindlichkeit und dem Verdauungszustande der Thiere bemerkt zu haben.[1]) Ich kann hierüber nichts aussagen, da ich auf diesen Nebenumstand nicht geachtet habe. Wie dem aber auch sei, es scheint jedenfalls so viel festzustehen, dass Fasern der Art, wie sie im Laryngeus superior enthalten sind, Fasern, denen an und für sich die Eigenschaft zukommt, die Medulla oblongata zur Einstellung der rhythmischen Innervation des Zwerchfells zu veranlassen, im Stamme des Vagus unterhalb des Laryngeus nicht vorkommen.

---

[1]) Système nerveux II. 344 ff.

Die Zeit, während welcher man das Zwerchfell in Contraction erhalten kann, ist sehr verschieden. Budge giebt an, dass sie vom Alter des Thieres abhänge, indem die Dauer des Stillstandes (den er allerdings als eine Exspiration betrachtet) bei jüngeren Thieren grösser sei, als bei älteren. Mir ist ein solcher Unterschied nicht aufgefallen. Wichtiger als das Alter ist jedenfalls die Stärke der angewandten Reizung und der Grad der schon bestehenden Zwerchfellscontraction. Auf diesen Umstand ist schon oben hingewiesen worden. Möglicher Weise lässt sich der von Budge beobachtete Einfluss des Alters darauf zurückführen, da ja bei jüngeren Thieren die Athmung viel schneller erfolgt. Sehr schwache Reizung bewirkt, wie wir gesehen haben, nur auf kurze Zeit Contraction, bei sehr starker Reizung ermüden Zwerchfell und Vagus sehr schnell, dagegen kann man bei richtiger Wahl der Reizstärke ausserordentlich lange anhaltenden Stillstand erzielen. So sah ich z. B. bei einem kräftigen, erwachsenen Kaninchen bei einer Reizung mit gewöhnlicher Anordnung des Magnetelectromotor, einem Daniell-schen Element und 160mm Rollenabstand eine stetige Contraction des Zwerchfells während nahe 45 Secunden. Eine solche Dauer ist allerdings nicht immer zu erreichen, aber 20—30 Secunden dauernde Stillstände sind durchaus nicht selten.

Der Grad der Contraction, welcher durch Reizung eines Vagus erzielt werden kann, ist sehr verschieden. Man sieht alle möglichen Stufen von der grösstmöglichsten Contraction, deren die Muskelbündel des Zwerchfells fähig sind, wo das Zwerchfell nur noch ganz schwach nach oben gewölbt ist und fast als ebene Scheidewand die Brust- und Bauchhöhle von einander trennt, bis zu der schwächsten, wo es eben nur um ein Minimum von der Lage der Erschlaffung, wie sie der tiefsten Exspiration zukommt, abweicht. Solche Fälle sind es, welche Budge ausschliesslich beobachtet zu haben scheint und die ihn zu der falschen Ansicht geführt haben, dass es sich um eine wirkliche Erschlaffung des Zwerchfells, um eine „Exspiration“

handele. In solchen Fällen reicht dann oft das Auge nicht aus, um aus dem blossen Anblick des Zwerchfells zu einer sicheren Entscheidung zu kommen, und nur der untrügliche Phrenograph kann uns hier zur Erkenntniss führen[1]). Ich gebe auf Taf. II Fig. 6—9 die getreue Abbildung einiger bei Vagusreizung gewonnener Curven, welche deutlich genug die verschiedenen Grade der Contraction zeigen. Niemals habe ich, wenn nicht Stromschleifen durch den Laryngeus gingen, mit diesem Apparate wirkliche Erschlaffung gesehen, wie sie die bei Laryngeusreizung gewonnenen Curven, Fig. 1—3, Taf. II, zeigen.

Fig. 6 ist von einem Kaninchen gewonnen, dessen linker Vagus bei einem Rollenabstand von 80mm gereizt wurde (Magnetelectromotor mit HELMHOLTZ'scher Einrichtung und einem DANIELL'schen Element), während der rechte Vagus noch unverletzt war. Die Reizung begann, als das Zwerchfell auf der Höhe der Inspiration war. Man sieht, dass die folgende Erschlaffung, deren Anfang noch ganz wie bei den vorhergehenden Athmungen aussieht, durch eine Zusammenziehung unterbrochen wird, welche, zuerst sehr stark, dann von mittlerer Stärke, während eines Zeitraums von 12 Secunden stetig anhält. Während dieser Zeit zeigt die Curve nur ganz kleine, äusserst häufige

---

[1]) SCHIFF (Lehrb. d. Physiol. 412) verwirft die directe Beobachtung des Zwerchfells wegen der „Störung, welche bei geöffneter Bauchhöhle durch den Luftdruck, bei geschlossener vielleicht durch die Zuckungen der Bauchmuskeln gesetzt wird." Die erstere „Störung" ist mir unklar geblieben, da ich nicht weiss, wie der Luftdruck anders auf das Zwerchfell wirken soll, wenn die Bauchhöhle geöffnet, als wenn sie geschlossen ist; Zuckungen der Bauchmuskeln aber kommen gar nicht so häufig vor, und wo sie sich einstellen, kann man ihre Einwirkung, z. B. an den Curven des Phrenographen, sehr gut von den Eigenbewegungen des Zwerchfells unterscheiden. Beobachtungen des Thorax aber sind zwar an sich sehr schätzbar, doch können sie nicht die directe Beobachtung des Zwerchfells ersetzen, da beide in ihrem Verhalten nicht ganz zusammenfallen, wie im nächsten Capitel weiter ausgeführt werden soll.

Wellen, passive Bewegungen des Zwerchfells, durch den in sehr kleine, aber schnell auf einander folgende Bewegungen gerathenden Thorax bewirkt. (S. hierüber das folgende Capitel). Schliesslich erschlafft das Zwerchfell wieder, nachdem noch etwas grössere passive Bewegungen eingetreten sind, noch vor dem Aufhören der Reizung, welches bei b erfolgte, und nimmt seine rhythmischen Contractionen wieder auf.

Fig. 7 und 8 sind Theile der von einem und demselben Kaninchen gewonnenen Curve, bei welchem beide Vagi durchschnitten waren, aber nur einer gereizt wurde. In beiden Fällen überdauerte die Zusammenziehung des Zwerchfells die Reizung einige Zeit. Die Reizung geschah in beiden Fällen mit gewöhnlicher Anordnung des Magnetelectromotor und einem Rollenabstand von 60mm. In Fig. 7 dauert die Reizung $5^{11}/_{15}$ Secunden an, das bei Beginn der Reizung gerade in Contraction begriffene Zwerchfell bleibt contrahirt und zwar noch $2^{8}/_{15}$ Secunden nach Aufhören der Reizung. Dann erschlafft es, jedoch nicht vollständig, sondern zieht sich noch einmal zusammen, um dann erst seine gewöhnlichen Bewegungen wieder aufzunehmen. In Fig. 8 dauert die Reizung $4^{2}/_{3}$ Secunden, die Contraction überdauert dieselbe um $2^{2}/_{5}$ Secunden, worauf die Bewegungen allmählich zu der vor der Reizung bestandenen Form zurückkehren.

Fig. 9 zeigt ein Beispiel, wo die Reizung nicht ausreichte, dauernden Stillstand zu bewirken. Die Reizung des linken Vagus hatte vorher schon mehrmals Stillstand ergeben, jetzt war er erschöpft, so dass bei einem Rollenabstand von 60mm und Helmholtz'scher Modification nur eine etwas stärkere Zusammenziehung erfolgte, welche dann in sehr kleine schnelle Zusammenziehungen überging, bei welchen das Zwerchfell, wie man sieht, niemals ganz in die Lage völliger Erschlaffung gelangte. Nach dem Aufhören der Reizung wurden die Bewegungen seltener und tiefer, bis sie die ursprüngliche Form wieder annahmen.

Nach diesen Auseinandersetzungen wird es wol überflüssig erscheinen, noch besondere Versuchsprotocolle mitzutheilen, um eine Thatsache zu erhärten, welche schon so oft beobachtet und beschrieben worden ist, um so mehr, als wir gelegentlich noch genug Zeugnisse für die Contraction des Zwerchfells bei Vagusreizung nebenbei gewinnen werden. Diese Thatsache kann gewiss als eine der gesichertesten in der ganzen experimentellen Physiologie angesehen werden, seitdem wir die Ursachen der abweichenden Beobachtungen der verschiedenen Forscher erkannt haben. Es entsteht jetzt nur noch die Frage, ob diese Zwerchfellscontraction die directe Folge einer durch die Vagusreizung auf die Medulla oblongata ausgeübten Wirkung sei, oder nur durch andere Umstände als ein secundäres Phänomen bewirkt werde. Ich würde diese Frage, deren Beantwortung eigentlich sich von selbst zu ergeben scheint, gar nicht aufwerfen wenn nicht GILCHRIST durch seine im geschichtlichen Theil citirte Bemerkung einen Zusammenhang zwischen der Stellung des Zwerchfells und dem Verhalten der Stimmritze anzunehmen schiene. Nun lässt sich allerdings nicht leugnen, dass bei geschlossener Stimmritze auch das erschlaffte Zwerchfell einen Stand einnehmen kann, wie er eigentlich dem contrahirten zukommt. Denn wenn die Luft nicht aus der Lunge entweichen, diese also sich nicht zusammenziehen kann, so kann auch das Zwerchfell nicht in die Höhe gehen. Aber ein solches Verhalten würde sich bei Betrachtung des Zwerchfells sogleich zu erkennen geben, da die mangelnde Contraction der Bündel eine Schlaffheit des Zwerchfells und Faltenbildung nach sich ziehen müsste. Davon sieht man jedoch bei Vagusreizung Nichts, die Bündel sind im Gegentheil augenscheinlich verkürzt und verdickt, wie es einem zusammengezogenen Muskel zukommt. Eine Faltenbildung kommt wol vor, doch verlaufen die Falten dann immer den Muskelbündeln parallel und sind eben nur die Folge der Contraction, durch welche die auf dem Mantel eines Kegel vertheilten Muskelbündel auf einem Kegel mit derselben Basis

aber von geringerer Höhe sich vertheilen müssen, dessen Mantelfläche natürlich kleiner ist. Andererseits ist aber gar nicht abzusehen, wie es überhaupt zu einem Verschluss der Stimmritze und noch dazu zu einem „krampfhaften" Verschluss kommen soll, wie GILCHRIST will, wenn ein Vagus oder gar beide und damit auch die entsprechenden Laryngei inferiores durchschnitten sind. GILCHRIST giebt uns darüber keinen Aufschluss, aber wenn wir auch von dem Verhalten der Stimmritze bei Vagusreizung noch nichts wissen (es soll später davon die Rede sein), so lässt sich doch so viel mit Bestimmtheit behaupten, dass ein solcher Verschluss, welcher die durch die vorhergehende Inspiration ausgedehnten Lungen verhinderte, sich zusammenzuziehen, unbedingt unmöglich sei, da die vom Laryngeus superior allein versorgten Mm. cricothyreoidei einen solchen Verschluss für sich allein zu bewirken nicht im Stande sind. Wer aber dies nicht zugiebt, der hat ein einfaches Mittel, sich von der Unabhängigkeit der Zwerchfells - Contraction vom Verhalten der Stimmritze zu überzeugen, nämlich die Tracheotomie. Er wird sehen, dass dann das Verhalten des Zwerchfells kein anderes ist, als ohne diese, wie folgendes Beispiel zeigt (beiläufig gesagt, einer der ersten Versuche, welchen ich anstellte, zu einer Zeit, wo ich von der Wirkung des Laryngeus superior noch nichts wusste).

Versuch. Einem kräftigen Kaninchen wird die Bauchhöhle geöffnet und das Zwerchfell blosgelegt. Der rechte Vagus wird präparirt, durchschnitten und tetanisirt, (Magnetelectromotor mit einem Daniell und Helmholtz'scher Einrichtung). Bei schwacher Reizung Vermehrung der Respirationsfrequenz, bei stärkerer Stillstand in Inspirationsstellung, bei übereinander geschobenen Rollen Stillstand in Exspirationsstellung. Es wird Tracheotomie gemacht und eine Canüle eingebunden: Erfolg ungeändert. Anderer Vagus durchschnitten und tetanisirt: Die Erscheinungen sind dieselben.

Wir finden also, dass durch die Erregung des centralen Stumpfes eines am Halse durchschnittenen Vagus die Medulla olongata in den Zustand gesteigerter Thätigkeit geräth, demzufolge sie das Zwerchfell entweder zu häufigeren Contractionen oder, bei genügender Stärke der Erregung, zu einer dauernden Zusammenziehung anregt, gerade wie dies TRAUBE zuerst behauptet hat.

Dieser Effect der Vagusreizung tritt aber auch ein, wenn beide Vagi durchschnitten sind, wie schon Fig. 7 und 8, Taf. II beweisen, und wir haben daher nur nöthig, in aller Kürze die Unterschiede anzuführen, welche sich dabei zeigen. Zunächst ist zu bemerken, dass bei Reizung eines Vagus eine viel stärkere Erregung erforderlich ist, um dauernde Zusammenziehung des Zwerchfells zu bewirken, wenn der andere Vagus durchschnitten, als wenn er unversehrt ist. Dies kann nicht wunderbar erscheinen, da sich im ersteren Falle die künstliche Erregung zu der normalen Einwirkung hinzuaddirt, welche stetig auf dem Wege des anderen Vagus zur Medulla oblongata geleitet wird. Fällt diese Einwirkung fort, sind beide Vagi durchschnitten, so muss die künstliche Erregung zunächst erst den Grad erreichen, welche die natürliche hatte, um die so sehr gesunkene Athemfrequenz wieder auf den normalen Punct zu bringen, und erst eine noch stärkere Erregung kann dann Stillstand des Zwerchfells im zusammengezogenen Zustande bewirken.

Aus dem Gesagten folgt zugleich unmittelbar, dass die Vermehrung der Athemfrequenz durch Vagusreizung nach Durchschneidung beider Vagi sehr viel leichter zu erreichen ist, als bei Unversehrtheit des einen. Während wir in diesem letzteren Falle stets nur eine geringe Vermehrung sahen, welche sehr leicht bei der geringsten Steigerung der Reizstärke in dauernde Zusammenziehung überging, kann man bei der sehr geringen Athemfrequenz nach Durchschneidung beider Vagi durch passende Abstufung der Reizung jede beliebige Steigerung bis zur normalen Athemfrequenz und darüber erzielen. Dabei ist es nun

sehr interessant zu sehen, wie sich auch der Modus der Zwerchfellsbewegung ändert und wie diese von dem eigenthümlichen Character, welchen sie nach Durchschneidung beider Vagi haben, wieder zu der gewöhnlichen, der Norm entsprechenden Form zurückkehren. Nicht blos, dass die einzelnen Contractionen weniger tief werden, auch die Dauer der Inspiration im Verhältniss zur Exspiration nimmt ab und vor Allem wird die Dauer der Respirationspause immer geringer, je mehr die Respirationsfrequenz steigt, und verschwindet zuletzt ganz. Dabei verschwinden dann auch die kleinen Ausbiegungen, welche die mit dem Phrenographen gewonnenen Curven zeigen, besonders die Ausbiegung nach unten am Ende der Respirationspause. Da diese Ausbiegungen, wie wir im vorigen Capitel auseinandersetzten, als passive Zwerchfellsbewegungen anzusehen sind, so versparen wir uns eine eingehendere Besprechung dieses Punctes bis zum nächsten Capitel, wo von dem Einfluss der Vagusreizung auf die Bewegungen der Thorax gehandelt werden soll.

Ganz dieselben Erscheinungen werden beobachtet, wenn man beide am Halse durchschnittene Vagi gleichzeitig reizt. Man kann die gleichzeitige Erregung beider Vagi entweder so vornehmen, dass man die Inductionsströme hinter einander durch beide Nerven gehen lässt, oder dass man die Enden der secundären Spirale mit je einem Leitungsdraht zweier stromzuführender Vorrichtungen verbindet, so dass der Strom sich in zwei Zweige spaltet. Das letztere Verfahren ist vorzuziehen, denn da der Widerstand des Nerven ungemein gross im Verhältniss zu dem der Spirale ist, hat man in diesem Falle in jedem Nerven fast genau dieselbe Stromdichte, als wenn die Ströme bei unveränderter Stellung der Spirale, nur durch einen Nerven gingen, und die Zahlenangaben über die Stromstärken sind daher direct vergleichbar. Sind die Vagi auf recht lange Strecken freipräparirt, so ist es übrigens auch möglich, beide zusammen auf eine und dieselbe stromzuführende Vorrichtung zu legen, was ja

in electrischer Beziehung ganz dasselbe leistet. In allen diesen Fällen kann man sehr schön durch allmählige Verstärkung der Reizung eine Zunahme der Respirationsfrequenz bis zur normalen Zahl und über dieselbe hinaus bewirken, welche dann allmählich in dauernde Contraction des Zwerchfells übergeht. Es bedarf aber stets stärkerer Erregung, um einen bestimmten Erfolg zu erzielen, wenn nur ein Vagus erregt wird, als wenn man beide gleichzeitig reizt. Wie gross die Unterschiede in der Reizungsstärke sein müssen, lässt sich natürlich nicht sagen, da die Zahlen, welche den Rollenabstand beim Magnetelectromotor angeben, kein Maass für die Stromstärke sind, sondern nur eine ohngefähre Schätzung erlauben, auch immer nur für den bestimmten gerade benutzten Apparat einen Sinn haben, der zugleich mit der Stärke der erregenden Kette wechselt. Ich unterlasse daher die Anführung von Zahlen, welche nicht mehr lehren würden, als eben das blosse Factum. Jedenfalls sehen wir daraus, was uns schon die Durchschneidung der Vagi gelehrt hat, dass die Einwirkung auf die Medulla oblongata von einem Nerven allein bewirkt werden kann, dass aber die durch beide Nerven gesondert anlangenden Erregungen im Centralorgan sich gegenseitig unterstützen. Ob sie sich dabei einfach summiren, ist freilich eine Frage, welche wir dahingestellt sein lassen müssen.

ACHTES CAPITEL.

Verhalten des Thorax bei Reizung des centralen Vagusstumpfes.

Die bisherigen Erörterungen haben uns gelehrt, dass das Zwerchfell bei der Reizung des Vagus in der That in contrahirtem Zustande verharre, wie es die Mehrzahl der bisherigen Forscher angegeben hatte, und wie wir es schon im dritten Capitel als wahrscheinliches Ergebniss aus den sich so sehr widersprechenden Angaben abgeleitet hatten. Zugleich bot sich uns in dem Erfolge der Laryngeusreizung ein genügender Umstand dar, zur Erklärung der abweichenden Befunde einiger Forscher. Bei den übrigen Respirationsmuskeln sind leider die vorhandenen Angaben zu spärlich, um aus ihnen einen Schluss ziehen zu können. Zwar macht LINDNER eine gelegentliche Bemerkung über die Scaleni, und von SCHIFF und OWSJANIKOW ist das Verhalten des Thorax allein berücksichtigt worden. Aber aus der LINDNER'schen Angabe geht nicht einmal mit Bestimmtheit hervor, ob jene Muskeln während der Reizung des Vagus erschlafft waren, oder sich, wie vor der Reizung, rhythmisch zu contrahiren fortfuhren.[1]) Und die Angaben der beiden anderen

[1]) Vergl. oben p. 27. Die Stelle lautet bei LINDNER a a O p. 28: „Cuniculi cani carotides ligantur cerebrumque eximitur. Qnum vagus uterque et

Forscher sind einander so schnurstracks entgegengesetzt, dass nur mit mehr oder minder grosser Wahrscheinlichkeit Gründe zu Gunsten des Einen oder des Anderen sich angeben lassen.

SCHIFF[1]) beurtheilte die Hebung und Senkung des Thorax nach den Bewegungen einer in den Rippen befestigten langen Nadel. Er sah bei Beginn der Reizung stets eine lange, tönende Inspiration, nach welcher die Athmung aufhörte. War die Reizung stark, so sank der Brustkasten allmählich zusammen bis zur Exspirationsstellung, in welcher er verharrte, bis die Athmung wieder mit einer Inspiration eintrat. War die Reizung jedoch schwach, so hielt die Inspirationsstellung bis zum Aufhören der Reizung an. SCHIFF's Versuche sind an Kaninchen und Meerschweinchen angestellt, und es scheint, dass stets beide Vagi durchschnitten waren, von denen dann einer oder beide zugleich gereizt wurden.

Zu dem entgegengesetzten Ergebniss kam OWSJANIKOW bei Hunden, deren Athmung er mit Hülfe des SIBSON'schen Thoracometers untersuchte.[2]) Nach ihm bleibt der Brustkorb in einer Exspirationsstellung stehen, welche sogar die normale Exspiration an Tiefe übertrifft. Doch haben nur stärkere Ströme diesen Erfolg, während schwache gar keine Wirkung ausüben.

Es ist nicht wahrscheinlich, dass die Verschiedenheit der Ergebnisse, zu welchen diese beiden Forscher gelangten, auf einem Unterschied in der Wirkung beruhe, welche der Vagus bei verschiedenen Thieren ausübt. Zwar ist das Verhalten des Thorax bei Kaninchen und Hunden in der normalen Athmung

---

dexter et sinister esset dissectus, respiratio per complura horae scripula amittitur. Musculus scalenus, qui apud cuniculos usque ad sextam circiter costam pertingit, nudatur et ab insertione costali, specillo sulcato subdito, separatur. Quaque inspiratione contrahitur. Animal jam erat infirmissimum et respiravit rarissime. Irritatione electrica contrahuntur mm. phrenocostales, non m. scalenus."

[1]) Lehrbuch I. 412.

[2]) VIRCH. Arch. XVIII. 572.

verschieden, da er bei den ersteren fast stets unbewegt bleibt. Aber da wir gesehen haben, dass bei Hunden das Zwerchfell ebenso wie bei Kaninchen in Inspirationsstellung still steht, so sollte man dies vom Thorax erst recht erwarten; jedenfalls ist der umgekehrte Erfolg hier noch auffallender, als er bei Kaninchen wäre.

Ein anderer Grund der Verschiedenheit könnte darin gesucht werden, dass SCHIFF, wie es scheint, beide Nerven durchschnitten hatte, während OWSJANIKOW wahrscheinlich den einen unverletzt liess. Es ist dies zwar nicht ganz sicher ausgemacht, da keiner von Beiden es ausdrücklich angiebt; doch glaube ich es aus dem Zusammenhange entnehmen zu müssen. Aber auch dies giebt keine rechte Handhabe für eine Erklärung. Nach dem, was wir im sechsten Capitel gesehen haben, geräth der Thorax nach doppelter Vagusdurchschneidung in vermehrte Action, ja der bei ruhigem Athem unbewegte Thorax des Kaninchens setzt sich dann stets in Bewegung. Nun könnte man wol vermuthen, dass Reizung der Vagi vielleicht diese Folge der Durchschneidung aufhebe, wie wir ja auch beim Zwerchfell gesehen haben, dass die nach Vagusdurchschneidung so energischen und seltenen Verkürzungen bei Reizung eines oder beider Vagi häufiger und damit zugleich schwächer werden (vgl. Fig. 9 Taf. II); aber dies würde doch nur eine Stellung des Brustkastens in seiner natürlichen Gestalt ergeben können, also gerade das entgegengesetzte, als was SCHIFF gefunden hat.

Eher noch lässt sich eine Ausgleichung zwischen den beiden Angaben anbahnen, wenn man auf die Beobachtungsmethoden zurückgeht. SCHIFF beobachtete die Bewegung der Rippen mit Hülfe einer in denselben befestigten Nadel. Leider giebt er nicht an, in welcher Rippe die Nadel befestigt wurde, was um so wünschenswerther sein muss, als die Bewegung der verschiedenen Rippen beim Kaninchen durchaus nicht gleichwerthig ist. Beobachtet man ein ruhig athmendes Kaninchen, dessen Brustkorb durch Abtrennung der Haut und der Pectorales blosgelegt

ist, so sieht man, dass die oberen Rippen ganz unbewegt bleiben, während die unteren, von der achten oder neunten ab, bei jeder Inspiration nach Aussen und Oben sich bewegen. Diese Bewegung ist aber eine rein passive, theils durch die Erschlaffung der Obliqui abdominis externi, theils durch die Contraction des Zwerchfells bedingte. Indem dieses sich nach abwärts bewegt und das Volum des Abdomen zu verkleinern strebt, werden die unteren Rippen durch die Baucheingeweide nach Aussen gedrängt. Indem andrerseits die Obliqui externi erschlaffen, welche sich stets bei der Exspiration des Kaninchens zusammenziehen, und die unteren Rippen abwärts führen, müssen diese durch ihre eigene und die Elasticität der an ihnen befestigten Muskeln wieder aufwärts steigen. Diese Bewegung bleibt daher aus, wenn die Bauchdecken dnrch einen Kreuzschnitt gespalten werden. Es ist auch nicht diese Bewegung, welche Traube gegen Beau und Meissiat leugnet, sondern eine Aufwärtsbewegung der Rippen durch das Zwerchfell, und dass eine solche nicht möglich sei, hat Traube allerdings bewiesen[1]). Wenn nun Schiff seine Nadel in einer der unteren Rippen befestigt hätte, so könnte er möglicher Weise eine durch die Contraction des Zwerchfells bewirkte Auswärtsführung der Rippen für eine active Wirkung der Rippenheber genommen haben. Es ist jedoch sehr unwahrscheinlich, dass ein so geübter Beobachter wie Schiff sich dergestalt sollte getäuscht haben, und dass es ihm hätte entgehen können, wenn neben jener Auswärtsbewegung der unteren Rippen ein Stillstand der oberen in der Exspirationslage vorhanden gewesen wäre. Es ist dies um so unwahrscheinlicher, als ja bei seinen Versuchen in Folge der Vagusdurchschneidung die Bewegung der oberen Rippen gar nicht schwach und deutlich genug sein musste, um eine Unterscheidung beider Stellungen möglich zu machen.

Eher noch scheint die Annahme gerechtfertigt, dass

[1]) Beiträge II. 95 ff.

Owsjanikow durch eine solche passive Bewegung getäuscht worden sei. Bei jeder stärkeren Zusammenziehung des Zwerchfells werden nämlich die vorderen Enden der unteren Rippen und das Sternum, besonders der Processus xiphoïdes desselben, einwärts gezogen, wie man dies nicht blos an Thieren bei künstlicher Setzung eines Respirationshindernisses, sondern auch am Menschen bei allen dyspnoëtischen Zuständen beobachten kann. Eine solche Einziehung der Rippen wird begreiflicher Weise auch eintreten müssen, wenn das Zwerchfell durch Reizung des Vagus zu einer energischen Verkürzung veranlasst wird, und diese Einziehung würde selbst eine durch Wirkung der Inspirationsmuskeln des Thorax bedingte Auswärtsbewegung der Rippen und des Sternum übercompensiren können. Da nun aus seiner Mittheilung ersichtlich ist, dass Owsjanikow den Thoracometer an den unteren Partieen des Sternum und meist sogar am Processus xiphoïdes selbst anlegte (an den oberen kommen überhaupt keine beträchtlichen Bewegungen vor, weil die Drehungsaxe des Sternum an der knorpeligen Verbindungsstelle des Manubrium mit dem Corpus sterni gelegen ist), so kann die Möglichkeit nicht geleugnet werden, dass jene von ihm beobachtete Einziehung nur eine passive durch Contraction des Zwerchfells bewirkte war, und mit einer Exspiration gar Nichts zu schaffen hatte. Aus diesen Gründen kann ich mich Owjanikow's Urtheile nicht anschliessen, dass die Versuche mit dem Thoracometer „klare Resultate" geben, und ebensowenig vermag ich ihm beizustimmen, wenn er glaubt, durch seine Versuche den Streit über die Form des Respirationsstillstandes bei Vagusreizung beendigt zu haben. Klar wären die von ihm gefundenen Resultate doch nur dann, wenn alle in's Spiel kommenden Umstände sorgfältig wären berücksichtigt worden. Aber eine Einziehung des Processus xiphoïdes ist doch nicht identisch mit Exspiration, da wir sie gerade bei der Zusammenziehung des Zwerchfells so oft erfolgen sehen.

Bei dieser Lage der Dinge bleibt Nichts Anderes übrig,

als durch neue Versuche eine Entscheidung herbeizuführen. Bei diesen aber werden wir es uns müssen angelegen sein lassen, Mittel der Beobachtung anzuwenden, welche in jedem Falle unzweifelhafte Auskunft geben, ob ein bestimmter Muskel zusammengezogen oder erschlafft sei. Die Stellung der Rippen und des Sternum allein ist dazu nicht ausreichend, da diese meist durch die Wirkung verschiedener Muskeln in gleichem oder entgegengesetztem Sinne geändert werden kann. Da nun die verschiedenen Muskeln des Thorax für die Athmung nicht gleichwerthig sind, so ist auch nicht zu erwarten, dass sie alle in gleicher Weise von der Vagusreizung beeinflusst werden. Es ist daher unbedingt nothwendig, das Verhalten eines jeden Muskels einzeln zu beobachten, und zwar unter den verschiedenen Umständen, welche darauf von Einfluss sein können, wie die Durchschneidung nur eines oder beider Vagi, schon bestehende dyspnoëtische Zustände u. s. w.

Die folgenden Angaben beziehen sich zumeist auf Kaninchen, welche ich bei der Schwierigkeit, hier in Berlin Hunde und besonders Katzen, welche letztere zu diesen Versuchen am geeignetsten sind, aufzutreiben, hauptsächlich benutzt habe. Doch habe ich die Versuche auch soweit an diesen Thieren verfolgt, um sicher zu sein, dass die am Kaninchen gewonnenen Ergebnisse in allen wesentlichen Puncten auch bei jenen wiederkehren. Um die folgenden Versuche besser zu verstehen, muss man sich der Rolle erinnern, welche bei der Athmung der Kaninchen die einzelnen Muskeln spielen, und welche von TRAUBE in seinem Aufsatze: „Die Erstickungs- (dyspnoëtischen) Erscheinungen am Respirationsapparat“ [1]) sehr gründlich erforscht worden sind. Indem ich wegen des Genaueren auf diese Arbeit verweise, will ich hier nur das für uns wichtige Ergebniss anführen, dass bei Respirationshindernissen sich zu der Contraction des Zwerchfells bei der Inspiration die der Intercartilaginei, Intercostales externi,

[1]) Beiträge II. 91ff.

Levatores costarum und Scaleni gesellt, wozu dann noch bei sehr erschwerter Respiration Contractionen des Serratus, Sternohyoideus, Sternothyreoideus und Cricothyreoideus kommen [1]). Die Reihenfolge, in welcher diese Muskeln bei steigender Dyspnoe ins Spiel kommen, ist die, dass erst die eigenthümlichen Heber der oberen Rippen, dann erst die der unteren Rippen und die Scaleni in Thätigkeit gerathen, zuletzt die anderen [2]). Nur in Bezug auf die Sternohyoidei und Sternothyreoidei möchte ich mir die Bemerkung erlauben, dass ihre Stelle nach meinen Beobachtungen schon vor die Intercartilaginei zu setzen ist, da man die regelmässige Bewegung des Kehlkopfs sehr häufig wenigstens schon bei ganz normaler Respiration mit völliger Unbeweglichkeit der oberen Rippen sieht. Im übrigen kann ich TRAUBE's Angaben nach meinen Erfahrungen lediglich bestätigen.

Es ist von Interesse, zu untersuchen, ob eine solche S tufen leiter auch bei Erregung der Vagi besteht, wie wir ja schon etwas Aehnliches bei der verstärkten Athmung nach Vagusdurchschneidung sehen, wo die eigenthümlichen Heber der oberen Rippen stets, die Scaleni jedoch nicht immer in rhythmische Action gerathen, sondern nur bei den höheren Graden der Durchschneidungsfolgen. (Man vgl. die oben S. 85 f. mitgetheilten Versuche). Wir sehen also hier eine Grenze der Dyspnoe, zu welcher die Vagusdurchschneidung führt. Besteht für die Vagusreizung eine solche Grenze ebenfalls?

Bei näherer Ueberlegung stellt sich aber die Frage noch als viel verwickelter dar. Wir haben im sechsten Capitel gesehen, dass nach Durchschneidung der Vagi die Athembewegungen seltener werden, dafür aber jede einzelne um so tiefer, dergestalt, dass schliesslich die Athmungsgrösse nahezu ungeändert bleibt. Im vorigen Capitel sahen wir, dass die nach

[1]) Beiträge II. 124.

[2]) Beiträge II. 129, 130.

Durchschneidung beider Vagi so sehr energischen Zwerchfellszusammenziehungen bei Erregung eines oder beider Nerven wieder häufiger, aber gleichzeitig schwächer werden, und dass erst bei noch stärkerer Erregung ein Stillstand des Zwerchfells in dauernder Zusammenziehung eintrete. Wir kamen so zu dem Schluss, dass so lange die Erregung einen gewissen Grad der Stärke nicht übersteige, zunächst nur die durch die Durchschneidung aufgehobene normale Einwirkung der Vagi auf die Medulla oblongata wieder hergestellt werde. Uebertragen wir diese Anschauung auf die übrigen Respirationsmuskeln, beispielsweise den Scalenus, so kommen wir zu ganz eigenthümlichen Schlussfolgerungen. Gesetzt dieser Muskel wäre, wie dies ja zuweilen geschieht, nach Durchschneidung beider Vagi in rhythmische Thätigkeit gerathen, so müsste er bei einer bestimmten Stärke der Erregung eines oder beider Nerven wieder unthätig werden, bei einer stärkeren Erregung aber könnte er möglicher Weise gar in dauernde Zusammenziehung gerathen. Ist aber nur ein Vagus durchschnitten, so würde vielleicht gleich von vornherein das letztere Ergebniss eintreten müssen.

Ferner kann es für den schliesslichen Erfolg der Vagusreizung, auch wenn nur einer dieser Nerven durchschnitten ist, durch den anderen also noch die normale Einwirkung, wie wir gesehen haben, ungeschwächt ausgeübt wird, — es kann, sage ich, für den Erfolg der Reizung nicht gleichgültig sein, ob die Athmung normal vor sich geht, oder schon in Folge eines Respirationshindernisses verstärkt ist. Denn wir haben ja in der Athmung zunächst den Effect der Reizung vor Augen, welche durch das Blut auf die Medulla oblongata ausgeübt wird, und in diesen Effect greift erst die Vagusreizung (auf vorläufig noch unbekannte Weise) ändernd ein. Dieser Umstand ist besonders wichtig, wenn es sich darum handelt, das Verhalten der eigenthümlichen Rippenheber zu untersuchen, da wir in diesem Falle eine einzelne Rippe oder zwei in Zusammenhang mit einander zu isoliren, also genöthigt sind, einen einseitigen Pneumothorax

zu machen. Hier haben wir dann aber in der künstlichen Respiration ein Mittel, jenen Umstand in beliebigem Grade zu regeln, oder ganz fortzuschaffen. Dieses Mittel, welches schon Traube so wesentliche Dienste bei dem Studium der dyspnoëtischen Erscheinungen geleistet hat, wird auch uns hoffentlich nicht ohne Nutzen sein.

Wir fassen also unsere Aufgabe in einem viel weiteren Umfange auf, als dies bisher geschehen, wo man mit „Inspiration" und „Exspiration" als mit fertigen, unveränderlichen Begriffen handhabte. Wir wollen für jeden einzelnen Athemmuskel erforschen, wie er sich unter den verschiedensten Verhältnissen verhalte, wenn der centrale Vagusstumpf erregt wird. Nur so können wir hoffen, zu der Einsicht zu gelangen, welcher Art die Einwirkung des Vagus auf das respiratorische Nervencentrum eigentlich sei.

Wir wollen die möglichen Fälle unter folgende drei Rubriken bringen:

1. Es ist nur ein Vagus durchschnitten, die Athmung ist normal.
2. Es ist nur ein Vagus durchschnitten, die Athmung ist wegen eines schon vorhandenen Respirationshindernisses verstärkt.
3. Es sind beide Vagi durchschnitten.

---

1. Normale Athmung bei Erhaltung des einen Vagus.

Hat man ein Kaninchen auf dem Vivisectionstischchen festgebunden und legt den Brustkasten und die Oberbauchgegend blos, indem man die Haut in der Mittellinie spaltet, zu beiden Seiten mit flachen Messerzügen abpräparirt und die Pectorales auf einer Hohlsonde durchschneidet und zurückklappt, so sieht man, mag das Thier narcotisirt sein oder nicht (im letzteren Falle jedoch erst nach Verlauf einiger Zeit), in vielen Fällen

den Thorax ganz unbewegt bleiben, bis auf die schon oben beschriebene Auswärtsbewegung der unteren Rippen bei der Inspiration. Bei genauerer Betrachtung sieht man jedoch schwache, aber regelmässige Zusammenziehungen des M. obliquus abdominis bei der Exspiration, welche noch deutlicher sichtbar werden, wenn man die Fascie desselben am Bauche durchschneidet, und ihn von dem darunter liegenden Obliquus internus bis zum Rippenrande hin sanft ablöst. Er fährt dann ruhig fort, sich bei jeder Exspiration regelmässig zu verkürzen, wobei sein unteres abgelöstes Ende sich ein wenig auf seiner Unterlage verschiebt. An den Intercostalräumen bemerkt man keine Veränderung, und die Intercostalmuskeln bleiben ebenfalls, so weit sie sichtbar sind, ruhig. Dieses Verhältniss ändert sich auch nicht, wenn der Obliquus abdominis, Serratus und die Scaleni abgetragen werden, um die Intercostalmuskeln in ihrer ganzen Ausdehnung überblicken zu können; ebensowenig bemerkt man Zusammenziehungen der letztgenannten, noch mit ihren unversehrten Nerven in Verbindung stehenden Muskeln. Dieser Modus der Respiration ist als der normale des Kaninchens anzusehen, da bei ihm die geringste Muskelwirkung angewandt wird, welche dennoch genügt, das Athembedürfniss des Thieres vollkommen zu decken. In der That wirken hier nur zwei Muskeln: das Zwerchfell bei der Inspiration, der Obliquus abdominis externus bei der Exspiration.

Ein solcher Zustand des Thieres ist aber nicht immer zu beobachten. Häufig sind schon von vorne herein mehr oder weniger starke Bewegungen des Thorax vorhanden, häufig stellen sie sich während der Beobachtung ein, um entweder bald wieder zu verschwinden oder auch dauernd zu bleiben. In der That genügt der geringste Umstand, welcher entweder die Luftzufuhr beschränkt oder das Athembedürfniss des Thieres vermehrt, eine solche verstärkte Athmung herbeizuführen. Da nun das Athembedürfniss nicht immer das nämliche sein kann, sondern von den verschiedensten Umständen bedingt ist, da ferner

allerlei Umstände, wie Schleimanhäufung in den Luftwegen oder Aufregung des Thieres, wenn es nicht narcotisirt ist [1]), sich nicht vermeiden lassen, so erklären sich die Ungleichheiten der Athmung von selbst. Man ist in dieser Beziehung eben dem Zufall unterworfen und muss zuweilen viele Thiere opfern, um einige Versuche auch bei ganz ruhigem Thorax anstellen zu können.

Hat man jedoch ein Thier, bei welchem der Thorax unbewegt bleibt, so verharrt er auch noch in Ruhe, wenn man einen Vagus durchschneidet. Reizt man dann diesen, so sieht man folgende Erscheinungen: Während das Zwerchfell, dessen Bewegungen man durch eine Nadel sichtbar machen kann, wenn die Reizung stark genug ist, in dauernde Zusammenziehung geräth, bleibt der Thorax vollkommen ruhig. Die Rippen bewegen sich nicht, und wenn man die Reizung bald unterbricht, so beginnt das Zwerchfell, meist erst nach Verlauf einiger Zeit, seine Bewegungen wieder, wie wir dies im vorigen Capitel des Weiteren kennen gelernt haben. Dauert die Reizung jedoch länger, so gerathen die Rippen bald in eine gleichsam zitternde Bewegung, sie heben und senken sich schnell, wobei sie nur sehr kleine Excursionen machen. Diese werden aber, wenn der Stillstand des Zwerchfells noch immer fortdauert, immer stärker und stärker, endlich wird der ganze Thorax mächtig ausgedehnt, und sinkt gleich wieder schnell zusammen. Gleichzeitig damit hört auch der Stillstand des Zwerchfells auf, dieses beginnt seine Bewegungen in der früher beschriebenen Weise, und der

[1]) Ich will bei dieser Gelegenheit bemerken, dass die Narcotisirung mit Aether nicht gerade das beste Mittel ist, um sich eine ruhige und gleichmässige Athmung zu verschaffen. Am zweckmässigsten habe ich noch immer, neben der Exstirpation des Grosshirns, die Injection von essigsaurem Morphin in die Bauchhöhle gefunden. Ich wende eine Lösung von einem Theil auf 60 Theile Wasser an, und injicire davon mittelst einer spitzen Canüle, welche ich durch die Bauchdecken stosse, 3 — 6 CCm., also 0,05 — 0,1 grm. essigsaures Morphin. Bei Hunden und Katzen braucht man die drei- bis vierfache Menge.

Thorax gelangt, indem seine Bewegungen immer schwächer werden, bald wieder zur Ruhe. Ist jedoch die Reizung schwächer, so dass sie nur eben hinreicht, um die Zusammenziehungen des Zwerchfells ein wenig zu beschleunigen, so bleiben die Rippen und das Sternum vollkommen unbewegt, wie lange auch die Reizung anhalten möge.

Diese Erscheinungen geben keinen Aufschluss darüber, ob die Reizung des centralen Vagusstumpfes unter den hierbei obwaltenden Umständen einen Einfluss auf die Musculatur des Thorax auszuüben vermag. Denn die von uns beobachteten kleinen Bewegungen des Thorax werden schwerlich direct durch die Vagusreizung bewirkt, sondern können mit vielem Rechte als mittelbare Folge der Reizung angesehen werden, als Folge der durch den Zwerchfellsstillstand nothwendig eintretenden Dyspnoe. Dafür spricht ganz besonders der Umstand, dass sie anfänglich ganz fehlen, und dass sie allmählich stärker werden, zu einer Zeit, wo die Zusammenziehung des Zwerchfells schon nachlässt und sogar ganz aufhört. Wir müssen uns daher nach einem Mittel umsehen, die Athembewegungen in irgend einer Weise verändern zu können, ohne dass gleichzeitig der Gaswechsel im Blute geändert wird, wir müssen, um die wahren Wirkungen der Vagusreizung zu erkennen, den anderen, hier mitspielenden Factor, die Erregung der Medulla oblongata durch das Blut, unverändert zu erhalten suchen.

Ein solches Mittel bietet uns die künstliche Respiration. Oeffnet man einem Thiere beide Pleurahöhlen, so wird es bald sehr verstärkte Athembewegungen zeigen. Leitet man aber dann die künstliche Respiration ein, so kann man ganz nach Belieben, je nach der mehr oder weniger kräftigen Luftzufuhr, alle möglichen Abstufungen der Athmung von der normalen, wo nur das Zwerchfell sich rhythmisch zusammenzieht, bis zu der grösstmöglichsten Athemnoth eintreten lassen, und längere Zeit unterhalten. Die Bewegungen des Zwerchfells und der Rippen sind dann natürlich ganz ohne Einfluss auf den

Gaswechsel im Blut; sie werden einfach angeregt durch den in der Medulla oblongata vorhandenen Mechanismus, der seinerseits wieder von dem jeweiligen Gasgehalt des Blutes zu mehr oder weniger energischer Leistung bestimmt wird.

Um die künstliche Respiration einzuleiten, befestige ich in der Trachea, nachdem ein längliches Stück aus deren vorderer Wand ausgeschnitten worden, eine schwach conisch zulaufende Canüle, welche das Lumen der Trachea nicht ganz ausfüllt, aber ziemlich tief unter der angebrachten Oeffnung in die Luftröhre hineinragt. Mit dieser Canüle wird durch einen Kautschukschlauch ein Blasebalg verbunden. Beim Schliessen des Blasebalges wird dann Luft in die Lunge geblasen; während der darauf folgenden Pause zieht sich die Lunge zusammen, und die Exspirationsluft entweicht durch die Luftröhrenfistel neben der eingelegten Canüle. Auf diese Weise ist es sehr leicht, für eine beliebig lange Zeit den Thorax in vollständigster Ruhe zu erhalten, während das Zwerchfell und der Obliquus abdominis externus sich regelmässig und abwechselnd, mit mehr oder weniger grosser Geschwindigkeit und Kraft zusammenziehen.

Reizt man in diesem Zustande des Thieres einen Vagus, während der andere noch erhalten ist, so gelingt es niemals, auch nur die leiseste Bewegung der Rippen zu erhalten, während das Zwerchfell sich je nach der Stärke der Reizung entweder in schnellerem Rhythmus zusammenzieht, oder in dauernde Contraction geräth, was man sowohl durch eine in das Zwerchfell gesteckte Nadel sichtbar machen, als auch direct von oben her durch den geöffneten Thorax beobachten kann. Man kann in diesen Fällen beliebige Intercostalräume ganz trennen, man kann die Intercostales externi eines Rippenpaares auf der Hohlsonde abtragen, die Scaleni an ihrer Insertion ablösen, die Levatores costarum breves durchschneiden, stets wird man sich überzeugen, dass keiner dieser Muskeln reflectorisch vom Vagus aus zur Contraction veranlasst wird, die Reizung des Vagus

mag so stark sein, wie sie wolle. Kurz die Reizung des Vagus ist nicht im Stande, Bewegung der Rippen zu bewirken, so lange wenigstens solche Bewegungen nicht schon vor der Reizung bestanden haben, und so lange nicht während der Reizung die Erregung der Medulla oblongata durch das Blut eine Aenderung erleidet.

Unter diesen Umständen ist es von dem höchsten Interesse, die Frage beantwortet zu sehen, ob sich das Zwerchfell zur Vagusreizung ebenso verhalte, wie die übrigen Respirationsmuskeln oder nicht. Das heisst, es soll entschieden werden, ob das Zwerchfell durch die Vagusreizung nur deshalb zu schnelleren Contractionen oder dauernder Zusammenziehung veranlasst wird, weil es schon in Bewegung ist, ob es daher in Ruhe verharren bleibe, wenn es sich vor der Reizung nicht contrahirte.

Das Aufwerfen dieser Frage könnte müssig erscheinen, da ja das Zwerchfell während des ganzen Lebens stets in ununterbrochener Thätigkeit sich befindet. Dennoch ist dem nicht so. Es giebt einen Zustand des Lebens, wo das Zwerchfell eben so wenig sich zusammenzieht, als irgend ein anderer Athemmuskel. Dieser Zustand ist der foetale. Als Grund dieser Unthätigkeit des Zwerchfells haben wir im ersten Capitel den Umstand erkannt, dass dem Blute stets, auch ohne Athembewegungen, eine genügende Sauerstoffmenge zugeführt wird, um die Medulla oblongata niemals in den Zustand der Reizung zu versetzen. Sollte ein solcher Zustand nicht auch beim Erwachsenen sich herstellen lassen?

Dies ist in der That möglich. Bläst man den Thieren in der oben beschriebenen Weise Luft ein, so kann man es dahin bringen, dass die Bewegungen des Zwerchfells immer schwächer und schwächer werden, und zuletzt ganz aufhören. Man würde das Thier für todt halten können, wenn nicht das blosgelegte Herz in kräftigem Rhythmus fortpulsirte, wenn nicht die leiseste Berührung der Bindehaut des Auges sofortiges Blinzeln zur Folge

hätte u. s. w. Ja es ist mir gelungen, durch energische Handhabung des Blasebalges während einiger Zeit das Blut so mit Sauerstoff gleichsam zu überladen, dass selbst nach völliger Unterbrechung der künstlichen Athmung das Zwerchfell noch längere Zeit unbewegt blieb, bis zu fünf Minuten und darüber. Dann erst begannen die Bewegungen wieder, erst leise und selten, dann immer häufiger und stärker werdend, bis später auch die Rippen in Bewegung geriethen, und zuletzt das ausgeprägteste Bild der Dyspnoe sich darstellte, um dann in umgekehrter Reihenfolge allmählich zu verschwinden, wenn die künstliche Athmung wieder in Gang gebracht wurde.

Dieses Verfahren leistet ganz das, was wir verlangen, nämlich einen Zustand des Thieres herzustellen, in welchem das Zwerchfell erschlafft ist, ohne dass in den Lebenserscheinungen des Thieres sich sonst eine Schwächung bemerklich machte. Wir haben jetzt vollkommen Musse, zu sehen, ob das Zwerchfell sich bei Vagusreizung contrahire, sei es während die künstliche Athmung dauernd in Gang erhalten wird, sei es während jenes eben beschriebenen Zustandes von Uebersättigung des Blutes mit Sauerstoff. Besonders dieser letztere eignet sich sehr gut zur Anstellung des Versuches, da man dabei, bei ganz zusammengesunkenen Lungen und fast leerem Brustkorb, das Zwerchfell sehr schön von oben her übersehen kann, um so durch unmittelbare Betrachtung desselben die Anzeigen der in dasselbe eingesteckten Nadel controliren zu können [1]).

Man kann sich leicht denken, mit welchen Erwartungen ich an diesen Versuch ging, welcher, wie man sieht, von entschei-

[1]) Es versteht sich wol von selbst dass man sich bei diesen Versuchen nicht durch passive Bewegungen des Zwerchfells täuschen lassen darf, wie sie oft bei energischer Aufblasung der Lungen, besonders bei nicht genügend grossen Oeffnungen in den Brustwänden vorkommen. Man muss, wenn dies der Fall ist, die Canüle ein wenig aus der Luftröhre zurückziehen, damit eben nur soviel Luft eindringt, dass die Lungen nicht gegen das Zwerchfell drücken.

dender Wichtigkeit für unsere Auffassung des Verhältnisses zwischen Vagus und Medulla oblongata sein musste. Und der Erfolg entsprach ganz meinen Erwartungen. War jener Zustand erreicht, in welchem das Zwerchfell unbewegt verharrt, so blieb es auch unbewegt, wenn der Vagus gereizt wurde, mochte die Reizung so stark oder so schwach sein, wie sie wollte. Der Versuch kann an demselben Thier mehrmals wiederholt werden, so lange der Vagus seine Erregbarkeit behält. Ja man kann abwechselnd, indem man mit der künstlichen Athmung anhält, und sie wieder aufnimmt, bald das Zwerchfell durch Reizung des centralen Vagusstumpfes in mehr oder weniger starke dauernde Zusammenziehung versetzen, bald es in seiner Ruhe verharren lassen, je nachdem es schon vorher sich rhythmisch zusammenzog oder unthätig war.

Es ist aber natürlicher Weise unbedingt nothwendig, wenn man diesen Versuch mit Sicherheit anstellen will, dass man sich vorher von der Zulänglichkeit der Luftzufuhr zur vollständigen Beruhigung des Zwerchfells überzeugt habe. Denn wenn diese durch die künstliche Athmung nicht ganz erreicht ist, wenn das Zwerchfell sich noch, wenn auch innerhalb sehr langer Zwischenzeiten, von selbst zusammenzieht, wird man meist bei Beginn der Reizung eine Contraction desselben erhalten, welche aber um so schwächer ist, und um so kürzere Zeit anhält, je weniger stark die Athmung schon vorher war. Dieser Erfolg ist daher nicht im Widerspruch mit der eben gewonnenen Erfahrung; er stellt sich nur dar als ein rudimentäres Ueberbleibsel der bei stärkerer Athmung und passender Stärke der Vagusreizung sich einstellenden Beschleunigung der Zwerchfellsbewegungen oder sehr kurz dauernden Stillstände in Inspiration, von welchen im vorigen Capitel die Rede war.

Aus diesen Erfahrungen wird es nun auch erklärlich, warum die Erscheinungen am Zwerchfell so wechselnde sind, wie wir im vorigen Capitel gesehen haben, da ja die Stärke der

Zusammenziehung und die Dauer des Stillstandes, welche wir bei Vagusreizung finden, neben der wechselnden Stärke der Reizung auch, und zwar in besonders hohem Grade, bedingt sein müssen von dem gerade vorhandenen Reizungszustande der Medulla oblongata. Dieser Zusammenhang drängte sich uns schon dort, als in die Augen springend, auf. Aber erst die so mit Hülfe der künstlichen Athmung erweiterten Kenntnisse lassen uns alle die Unterschiede verstehen, welche bei diesen Versuchen vorkommen können.

Wir wollen hier sogleich noch eine Erscheinung besprechen, welche mit den hier erörterten Verhältnissen im Zusammenhang steht, insofern sie ebenfalls mit unseren jetzigen Anschauungen im Widerspruch zu sein scheint. Aber dieser Widerspruch ist eben auch nur ein scheinbarer. Ich meine die zuweilen sehr energische Inspiration, welche man durch Vagusreizung bei eben getödteten Thieren erhalten kann. Tödtet man ein Thier z. B. durch Oeffnung beider Pleurahöhlen (oder sonst auf irgend eine Weise, natürlich aber nicht durch Verletzung der Medulla oblongata), so werden die erst sehr verstärkten und beschleunigten Athembewegungen immer seltener und hören zuletzt ganz auf, Erscheinungen, deren Theorie ich im ersten Capitel angedeutet habe. Reizt man nun, während das Herz noch schlägt, einen Vagus, so erhält man meist eine zuweilen sehr energische Contraction des Zwerchfells, manchmal mit gleichzeitiger Hebung der Rippen. Diese Erscheinung ist von Lindner schon angegeben worden,[1]) und ich habe sie oft beobachtet. Hier ist doch vor der Reizung keine Bewegung des Zwerchfells vorhanden gewesen, und doch ist eine solche herbeigeführt worden. Aber diese Erscheinung beweist eben nicht viel. Denn bei den langen Pausen, welche in diesem Stadium zwischen den einzelnen Athembewegungen liegen, kann man niemals sagen, ob die vor der Reizung geschehene Inspiration eben die letzte gewesen wäre,

[1]) Siehe oben p. 27.

und häufig genug sieht man denn auch nach der Reizung noch „spontan" eine Inspiration erfolgen. Wartet man aber noch länger, so erhält man eben auch durch Vagusreizung keinen Effect mehr. Man kann daher bei diesem Versuch niemals behaupten, dass hier durch die Vagusreizung eine Inspiration bewirkt worden sei, die nicht auch ohne Vagusreizung, wenn auch später erfolgt wäre. Dieser Versuch unterscheidet sich auch principiell sehr von unserem obigen mit künstlicher Athmung. In dem einen Falle bleiben die Athembewegungen aus, weil kein Athembedürfniss vorhanden ist, d. h. weil dem Blute soviel Sauerstoff zugeführt wird, dass die Medulla oblongata nicht mehr gereizt wird. In diesem Zustande bewirkt auch die Vagusreizung keine Bewegung. In dem anderen Falle ist das Blut sehr arm an Sauerstoff, die Reizung der Medulla oblongata also sehr stark, aber die Erregbarkeit der Medulla oblongata ist so sehr gesunken, dass eben die Athembewegungen nur sehr selten und zuletzt gar nicht mehr erfolgen. Wenn also in dieser Zeit durch Vagusreizung noch eine Inspiration hervorgerufen werden kann, so kann man dies nur in Parallele stellen mit jenen Fällen, wo die Athembewegungen noch regelmässig erfolgen, und wo durch Vagusreizung ein länger anhaltender Zusammenziehungszustand des Zwerchfells bewirkt wird, während dieser bei so sehr gesunkener Erregbarkeit der Medulla oblongata eben zu einer einzigen, schnell vorübergehenden Zusammenziehung entartet.

Nach alledem wird es wol das Richtigste sein, wenn ich behaupte, dass auch eine Zusammenziehung des Zwerchfells bei Kaninchen nur dann durch Vagusreizung bewirkt wird, wenn ein Bewegungsantrieb schon vorhanden ist. Dies ist zunächst nur ein Ausdruck der Thatsache, ohne irgend welche Beziehung auf theoretische Anschauungen und Erklärungsversuche, zu welchen wir uns erst später, nach Sammlung des gesammten thatsächlichen Materials wenden wollen.

Wir gehen nun zur Betrachtung derjenigen Erscheinungen über, welche sich am Thorax der Hunde und Katzen, als Repräsentanten derjenigen Thiere, welche auch im normalen Zustande stets mit dem Thorax athmen, machen lassen, wenn ein Vagus gereizt wird, während der andere unverletzt ist. Die folgenden Thatsachen sind hauptsächlich an Katzen gewonnen, nicht blos weil bei diesen Thieren die Bewegungen energischer sind, sondern auch, weil bei ihnen der Thorax so beweglich ist, dass wie es scheint, eine weit geringere Kraft erforderlich ist, um ihn in einer gezwungenen Stellung längere Zeit zu erhalten. Wie dem auch sei, die Erfolge sind bei diesen Thieren ausserordentlich deutlich und lange andauernd, was bei Hunden (wenigstens erwachsenen) viel schwerer zu erreichen ist.

Die Hebung sämmtlicher Rippen bei der Inspiration ist bei Hunden und Katzen sehr schön zu beobachten, wenn man den Thorax bloslegt und den Pectoralis an seiner Sternalinsertion abschneidet und zurückschlägt. Gleichzeitig mit dieser Hebung sieht man eine Einziehung der Knorpel der unteren wahren und der falschen Rippen; so wie des Processus xiphoïdes, bedingt durch die Zusammenziehung des Zwerchfells. Die Hebung der Rippen wird bewirkt durch dieselben Muskeln, wie beim Kaninchen, die Intercostales externi, Intercartilaginei und Levatores costarum. In einzelnen Fällen sieht man auch die sehr stark entwickelten Scaleni an der regelmässigen Athmung Theil nehmen, niemals bei normaler, ruhiger Respiration den Serratus posticus. Die Exspiration geschieht nur passiv, durch die Elasticität der in ihre natürliche Form zurückkehrenden Brustwandungen, nur bei verstärkter Athmung gerathen die Bauchmuskeln in Thätigkeit. Diese Art der Athmung wird nicht geändert durch Trennung des einen Vagus.

Wird nun dieser Nerv erregt, so sieht man verschiedene Folgeerscheinungen, je nach der Stärke der Erregung. Bei ganz schwacher Reizung sieht man eine Vermehrung der Respirationsfrequenz, welche Zwerchfell und Brustmusculatur gleich-

mässig betrifft. Bei etwas stärkerer Reizung sieht man das Zwerchfell in dauernde Zusammenziehung gerathen, am Thorax aber sieht man verschiedene Wirkungen. Entweder nämlich geht die Athmung am Thorax ruhig fort, nur etwas beschleunigt, wie dies schon BERNARD an Hunden sehr richtig beobachtet hat.[1]) Oder, und dies tritt bei einem noch etwas höheren Reizungsgrade ein, man sieht unmittelbar bei Beginn der Reizung eine starke Erhebung sämmtlicher Rippen, welche aber nur einen Moment andauert, dann sinkt der Thorax wieder zusammen, ohne sich jedoch ganz der Ruhestellung zu nähern. In einiger Entfernung von dieser bleibt er stehen, und man sieht dann von dieser Stellung aus einzelne heftige Zuckungen, kurz abgebrochenen Inspirationen gleich, aus welchen der Thorax immer wieder zu jener von der Ruhe- (Exspirations-) Lage wenig abweichenden Stellung zurückkehren. Alles dies kann man mit blossem Auge recht gut verfolgen, eine in den Rippen befestigte Nadel aber oder sonst irgend ein den Rippenbewegungen mit vergrössertem Ausschlage folgender Hebel macht es deutlicher. Bei noch stärkerer Reizung aber bleibt der Thorax in stark erhobener Stellung stehen, so lange die Reizung anhält. Wird diese unterbrochen, so kehrt er in die Ruhestellung zurück und macht dann eine Reihe heftiger kurzer Bewegungen in etwas beschleunigtem Rhythmus, welche ganz allmählich wieder zu der vor der Reizung bestandenen Form zurückkehren. Alle diese Erscheinungen sieht man sehr schön bei Katzen, während Hunde den gänzlichen Stillstand in erhobener Stellung nur schwer zeigen und nur bei Anwendung sehr starker Ströme. Meist dauert er auch dann nicht lange, sondern springt in jene eben geschilderten zuckungsartigen Bewegungen über.

Diese Erscheinungen wiederholen, wie man sieht, im Ganzen und Grossen genau das, was wir im vorigen Capitel für das Verhalten des Zwerchfells bei Vagusreizung kennen gelernt

[1]) Vergl. oben p. 31.

haben, und es wird daher nicht nöthig sein, in Einzelnheiten sich zu verlieren, um Alles, was über die Dauer des Stillstandes, die verschiedenen Grade der Contraction u. s. w. zur Beobachtung kommen kann, zu wiederholen, da alles oben vom Zwerchfell Gesagte auch hier gilt. Wir sehen also, dass Rippenheber und Zwerchfell, wie sie in der normalen Athmung der Hunde und Katzen stets einander parallel gehen, so auch bei Vagusreizung sich gleichartig verhalten. Aber doch lässt sich auch hier ein Uebergewicht des Zwerchfells nicht verkennen, welches an das Kaninchen erinnert. Zwar finden wir hier nicht ein Stillstehen des Zwerchfells in zusammengezogenem Zustande bei völliger Ruhe des Thorax; aber die Contraction des Zwerchfells ist stark und stetig bei einer Stromstärke, welche den Thorax nur zu einer schwachen Hebung der Rippen bringt, aus welcher nur ab und zu noch einzelne stärkere Contractionen hervorgehen. Diese Erscheinung ist offenbar zu vergleichen mit den abwechselnden schnellen Bewegungen und kurz dauernden Stillständen in Contraction, von welchen oben die Rede war (S. 130f.), und welche das Zwerchfell zeigt, sobald die Stromstärke ein wenig zu schwach ist, um stetigen Stillstand zu erzeugen. Diese Erscheinung ist, wie man sich erinnern wird, schon von Snellen und Budge beim Zwerchfell gesehen und von dem Ersteren auch ganz richtig gedeutet worden.[1]) Auch hier an den Rippen kann man sich sehr gut überzeugen, dass die Stillstände nicht etwa einer Exspiration entsprechen, sondern dass die Rippen dabei immer etwas aus der Ruhelage im Sinne einer Hebung entfernt sind. Auch bemerkt man dabei an den blosgelegten Intercostales externi stets eine geringe Contraction. Schwieriger ist dies für die Scaleni festzustellen bei der geringen Annäherung, welche ihre Ansatzpunkte dabei doch nur erfahren. Dagegen sieht man eine energische Zusammenziehung desselben stets bei den einzelnen heftigen Inspirationen, welche

[1]) Vergl. p. 28 und 34.

jenen Stillstand unterbrechen. Ebenso unzweifelhaft ist eine tetanische Zusammenziehung jenes Muskels bei der starken dauernden Inspirationsstellung, welche auf hinlänglich kräftige Reizung des Vagus eintritt.

Es scheint ein solcher Fall von vorübergehender starker Inspiration mit folgender sehr schwacher Inspirationsstellung gewesen zu sein, welchen Kölliker und H. Müller als „einzige krampfhafte Exspiration mit vorhergehender kurzer Inspiration in Form des Niesens" beschreiben. Die krampfhafte Exspiration, von welcher sie sprechen, muss uns allerdings stutzig machen, doch abgesehen davon dass hier vielleicht Stromschleifen mitgespielt haben könnten, muss ich gestehen, dass mir das „krampfhafte" dabei nicht genügend constatirt erscheint, um nicht die Annahme zu gestatten, dass die Exspirationsmuskeln dabei gar nicht thätig waren. Es ist nämlich die Exspiration bei Hunden, besonders erwachsenen, immer sehr gewaltsam, wenn die vorhergehende Inspiration sehr tief war, ohne dass dabei andere, als elastische Kräfte zu der Exspiration mitwirken. Dies kommt ganz gewiss von der beträchtlichen Starrheit her, welche der Thorax bei diesen Thieren hat. Eine tiefe Inspiration kann daher nur durch eine sehr beträchtliche Muskelkraft bewirkt werden, und eine noch viel stärkere gehört dazu, den Thorax in erhobener Stellung zu erhalten. Ist daher die Vagusreizung nicht stark genug, um diese Muskelkraft auszulösen, so wird die starke Inspiration nur eine vorübergehende, und die Rippen fahren darnach durch ihre Elasticität so stark zusammen, dass dies eine heftige active Exspiration vortäuschen kann. Fasst man dabei jedoch einen beliebigen Exspirationsmuskel ins Auge, so sieht man, dass er ganz unthätig bleibt, und wenn dieser Zustand längere Zeit beharrt, so kann man sich meist überzeugen, dass der Thorax dabei immer noch erhoben bleibt und dass die Inspirationsmuskeln in einem mässigen Grad der Verkürzung verharren. Dass bei diesem Zusammensinken des Thorax die Luft gegebenen Falls auch ein Mal

mit etwas grösserer Heftigkeit durch die Nase entweichen kann, und so dass Bild des Niesens erzeugen kann, ist klar, mit dem Mechanismus des Niesens aber, wie er vom Trigeminus aus reflectorisch erregt wird, hat dies gewiss Nichts zu thun; daran möchte wol der Halsstamm des Vagus unschuldig sein.

Viel häufiger, als dieses von KÖLLIKER und H. MÜLLER beschriebene Phänomen, sieht man übrigens bei Hunden in Folge zu geringer Stärke der Vagusreizung eine sehr verstärkte und beschleunigte Athmung, wo sich also diese heftigen Inspirationen mit unmittelbar darauf folgendem starken Zusammensinken des Thorax sehr oft hintereinander wiederholen. Die Luft entweicht dabei mit starkem Geräusch aus Mund und Nase oder der etwa angelegten Luftröhrenfistel und die Athmung wird beinahe keuchend. Aber auch in diesen Fällen sieht man stets, wenn die Reizung genügend verstärkt wird, dauernden Stillstand in Inspiration eintreten, wie dies auch nach der Angabe von KÖLLIKER und MÜLLER in ihrem Falle geschah.

Was den Umfang der Muskelaction betrifft, welche auf diese Weise durch Vagusreizung angeregt werden kann, so vermag ich nur anzugeben, dass sämmtliche Inspirationsmuskeln, welche bei Katzen und Hunden thätig zu sein pflegen, nämlich ausser dem Zwerchfell: die Mm. intercostales externi, levatores costarum, scaleni und serratus posticus, auch bei Vagusreizung in dauernde Zusammenziehung gerathen können. Ob etwaige Unterschiede in der mehr oder minder grossen Empfänglichkeit gegen die Einwirkung des Vagus bestehen, ob in einzelnen Fällen noch andere Muskeln in Thätigkeit gerathen können, das zu entscheiden, ist das mir zu Gebote stehende Versuchsmaterial nicht gross genug.

Es ist natürlich von dem grössten Interesse, zu untersuchen, ob auch bei diesen Thieren, wie bei den Kaninchen, durch künstliche Athmung Zustände sich herstellen lassen, in denen die Athmung ganz aufhört, um dann zu sehen, welchen Erfolg die Vagusreizung in diesen Zuständen hat. Dass dies möglich sein

müsse, versteht sich wol von selbst, doch ist es weit schwerer, als bei Kaninchen. Während es mir bei diesen ein Leichtes war, nicht blos die Athembewegungen aufzuheben, sondern sogar dem Blute einen solchen Ueberschuss von Sauerstoff zuzuführen, dass selbst nach Unterbrechung der künstlichen Athmung die Bewegungen noch Minuten lang ausblieben, ist mir das bei Katzen niemals gelungen. (Bei Hunden habe ich den Versuch nicht gemacht). Zwar die Bewegungen der Rippen konnte ich zum Verschwinden bringen, aber das Zwerchfell machte immer noch Bewegungen, schwache freilich und in langen Intervallen. Dem entsprachen auch die Erfolge der Vagusreizung. Waren die Thoraxmuskeln ruhig, so geriethen sie auch bei Vagusreizung nicht in Thätigkeit. Das Zwerchfell aber machte meist bei Beginn der Reizung eine Contraction und blieb dann ruhig. Nur ein Mal, als bei sehr energischer künstlicher Athmung das Zwerchfell einige Zeit ganz ruhig blieb, bekam ich auch bei der Reizung keine Zusammenziehung. So wenig auch diese Erfolge mich selbst befriedigen, so muss ich doch den Versuch, durch bessere Hülfsmittel auch die Zwerchfellsbewegungen ganz fortzuschaffen, auf später verschieben. Der von mir benutzte Blasebalg gab offenbar nicht genug Luft, um das Sauerstoffbedürfniss der Katzen ganz zu decken. Es standen mir nun zwar eine Anzahl sehr kräftiger Instrumente der Art zu Gebote, aber diese gaben alle continuirliche Luftströme, was offenbar für den hier vorliegenden Zweck nicht brauchbar ist. Ich gehe jetzt gerade damit um, mir eine passende Vorrichtung zur künstlichen Respiration machen zu lassen, und ich werde nicht ermangeln, dann den Versuch wieder aufzunehmen, um die hier bleibende Lücke auszufüllen.

Soviel aber steht schon jetzt nach meinen Erfahrungen fest, dass die Bewegungen der Rippen bei Vagusreizung nicht eintreten, wenn sie durch starke Luftzufuhr zum Verschwinden gebracht sind. Auch erleidet es keinen Zweifel, dass eine starke und langanhaltende Zusammenziehung des Zwerchfells nur dann

durch Vagusreizung erzielt werden kann, wenn die Bewegungen des Zwerchfells schon vorher stark und nicht zu selten waren. Es wird daher bis auf Weiteres gestattet sen, anzunehmen, dass die Verhältnisse bei Kaninchen und Katzen nicht principiell, sondern nur dem Grade nach verschieden seien.

Es bleibt mir noch übrig vom Verhalten der Exspirationsmuskeln während der Reizung eines centralen Vagusstumpfes zu sprechen. Da hier nur von der normalen Athmung die Rede ist, so interessirt uns hier eigentlich nur der Obliquus abdominis externus des Kaninchen. Doch wäre es ja auch möglich, dass bei Hunden und Katzen, welche bei der normalen Exspiration gar keine Muskelwirkung aufweisen, solche während der Vagusreizung sich einstellte. Denn dass dabei Inspirationsmuskeln thätig sind, kann für uns kein Grund sein, die gleichzeitige Wirkung exspiratorischer Muskeln von vornherein zu leugnen. Giebt es doch in der That Zustände, in welchen eine gleichzeitige Contraction von Einathmungsmuskeln (Zwerchfell) und Ausathmungsmukeln (Bauchmuskeln) stattfindet: Erbrechen und alle anderen Wirkungen der Bauchpresse. Wenn diese Zustände auch in vielen Fällen eine Folge willkürlichen Eingreifens des Sensorium in den regelmässigen Athemmechanismus sind, so muss doch gerade das Erbrechen unsere Aufmerksamkeit fesseln, da es ja zum Vagus anerkannter Maassen in Beziehung steht.

Unter den Forschern, welche die Reizung des Vagus in Beziehung zur Athmung studirt haben, erwähnen nur Traube und Bugde ausdrücklich der Exspirationsmuskeln. Traube sagt in seiner ersten Mittheilung [1]), dass während der Reizung der Thorax nicht verengert, die Bauchmuskeln nicht contrahirt

[1]) Medic. Zeit. 1847. 20.

seien; in seiner zweiten Mittheilung [1]), dass während der Dauer der Inductionsströme die Exspirationsmuskeln völlig unthätig bleiben. Da TRAUBE an Kaninchen experimentirt hat, so lässt sich mit aller Entschiedenheit sagen, dass er sich von der Unthätigkeit der Bauchmuskeln auf das Bestimmteste überzeugt haben muss, er der ein Jahr vorher in seinem oben citirten Anfsatze über die dyspnoëtischen Erscheinungen zuerst auf die regelmässige Contraction des Obliquus abdominis externus bei der normalen Exspiration der Kaninchen aufmerksam gemacht hat. Gleichzeitig finden wir aber in seiner Angabe eine höchst willkommene Bestätigung unserer ohigen Behauptung, dass eine inspiratorische Bewegung am Thorax bei Kaninchen auf Vagusreizung nicht erfolge (so lange wenigtens die Athmung in den normalen Grenzen bleibt; über die Erscheinungen bei verstärkter Athmung wird noch die Rede sein). Hätte sich der Thorax während der Reizung erweitert, dies wäre einem so umsichtigen Forscher gewiss nicht entgangen, und er würde sich nicht der Ausdrucksweise bedient haben, der Thorax sei nicht verengert. Wir müssen daher schliessen, dass in den Versuchen TRAUBE's während der Vagusreizung bestanden habe:

Erschlaffung des Obliquus abdominis,
Stillstand des Thorax in Ruhestellung,
Tetanus des Zwerchfells.

Uebergehen wir die Angaben ECKHARD's, v. HELMOLT's und die schon oben gewürdigte OWSJANIKOW's, als nicht auf unmittelbarer Beobachtung der betreffenden Muskeln beruhend, und wenden wir uns zu BUDGE, so vermissen wir leider die wünschenswerthe Bestimmtheit des Ausdruckes, um das zu erkennen, was eigentlich beobachtet worden ist. Ich setze die ganze Stelle hierher, damit sich jeder selbst ein Urtheil bilden könne [2]): „Die Bauchmuskeln ziehen sich bei normalem Athmen

[1]) Bei PFLÜGER: Hemmungsnervensystem p. 11.

[2]) VIRCH. Arch. XVI. 454.

nur wenig bei Kaninchen zusammen, oft ist eine Contraction gar nicht zu bemerken. Werden Nase und Mund zugehalten, so wird sie deutlicher, aber auch dann nicht in allen Fällen recht klar. So ist es nun auch bei Reizung des Nervus vagus, die Contraction der Bauchmuskeln ist nicht immer gleich gut zu beobachten, obwohl Spuren immer vorhanden sind. — Der Stillstand wird nicht aufgehoben, wenn man das Rückenmark in der Gegend des sechsten Halswirbels vollständig durchgeschnitten, also das Brustmark von den Respirationscentren getrennt hat. Ich erkläre mir in diesem Falle den Stillstand dadurch, dass durch Reizung des Vaguscentrums das antagonistische Inspirationscentrum (noeud vital Flourens) in einen Zustand der Unthätigkeit geführt wird. In dem Versuche, den ich gemacht habe, war das Zwerchfell erschlafft, wie in der Exspiration. Bei Hunden hingegen habe ich häufig eine ganz intensive Contraction der Bauchmuskeln durch Reizung des centralen Endes des Nervus vagus gesehen, welche in vielen Fällen Veranlassung zu Würgen und Erbrechen gegeben hat.“ Es scheint, als hätte Budge niemals den von Traube angegebenen Kunstgriff angewandt, den Obliquus externus längs des unteren Rippenrandes (oder, was ich zu thun pflege, an seiner aponeurotischen Ausbreitung) zu durchschneiden; sonst hätte er die rhythmische Zusammenziehung desselben wol öfter gesehen. Abgesehen davon jedoch ist mir die ganze Stelle nicht recht klar geworden. Ich weiss nicht, was mit dem Stillstand gemeint sei, welcher durch Trennung des Rückenmarkes nicht aufgehoben wird. Die Bauchmuskeln stehen ja, wie unmittelbar vorher gesagt wird, schon meist still, und eine Einwirkung des „noeud vital Flourens“ auf dieselben, wenn die Leitung zwischen beiden aufgehoben ist, kann ich erst recht nicht begreifen. Doch wie dem auch sei, es scheint gewiss, dass Budge bei Reizung des Vagus Contraction der Bauchmuskeln gesehen haben will, die bei Hunden „häufig ganz intensiv“ gewesen sein soll.

Meine Versuche haben mich nicht zu diesem Ergebniss

geführt. Was zunächst die Kaninchen anlangt, so sah ich genau das, was schon TRAUBE gesehen hat, wie aus seinen Angaben oben mit Bestimmtheit abgeleitet wurde. Während das Zwerchfell sich energisch zusammenzieht, erschlafft der vorher rhythmisch thätige Obliquus externus während der Reizung vollkommen, um nach der Reizung seine Bewegungen wieder aufzunehmen: zuerst etwas verstärkt, allmählich zur Norm zurückkehrend. Die übrigen Exspirationsmuskeln verharren nach wie vor in ihrer Unthätigkeit. Nur wenn die Reizung einen sehr lange anhaltenden Stillstand des Zwerchfells bewirkt, sieht man zugleich mit dem Wiederbeginn seiner Bewegungen, wie sie für diese Fälle schon im vorhergehenden Capitel beschrieben worden sind, auch energische Contractionen der Bauchmuskeln eintreten. Aber diese sind keine Effecte der Vagusreizung. Sie treten erst auf, wenn der Vagus, durch lange Erregung erschöpft, nicht mehr wirkt. Die dann so sehr verstärkte Respiration ist keine Folge der Vagusreizung, sondern nur eine Folge der durch den langen Respirationsstillstand bewirkten Dyspnoe. Das während der dauernden Zwerchfellscontraction, (die natürlich für den Gaswechsel im Blute unwirksam ist, wie gross auch die auf sie verwandte Thätigkeit der Medulla oblongata sein mag), an Sauerstoff verarmte Blut wirkt stärker reizend auf die Medulla oblongata, und die Folge davon ist neben der verstärkten Inspiration auch eine verstärkte Wirkung exspiratorischer Muskeln, so dass sogar die Obliqui interni und der Tranversus abdominis mit in Thätigkeit gerathen können. Aber es ist sehr interessant zu sehen, dass wenn bei passender Stärke der Vagusreizung solche dyspnoëtische Erscheinungen schon auftreten, während das Zwerchfell noch contrahirt ist, Erscheinungen, welche sich in den oben beschriebenen erst schwachen, dann allmählich sich verstärkenden inspiratorischen Bewegungen des Thorax zu erkennen geben, dann die noch fort und fort wirksame Reizung des Vagus, dessen unerschöpfter Zustand eben in der fortdauernden Zusammenziehung des Zwerchfells sich

kenntlich macht, dass, sage ich, diese fortdauernde Reizung genügt, trotz der vorhandenen Dyspnoe, die Contractionen der Bauchmuskeln auf lange Zeit zu unterdrücken. Andererseits kommen Fälle vor, wo die Obliqui zu erschlaffen scheinen bei einer Reizung, die noch gar nicht stark genug ist, das Zwerchfell zu einer dauernden Contraction zu bringen, sondern nur dessen Bewegungen zu beschleunigen vermag. Immerhin mögen hier noch Spuren von Bewegungsantrieben zu den Obliquis gelangen, die nur zu schwach sind, deutlich sichtbare Verkürzungen der Muskelfasern zu bewirken. Jedenfalls wird die Zusammenziehung dieser Exspiratoren durch Vagusreizung vermindert. Es giebt wol keine schlagenderen Beweise für die Unrichtigkeit der Budge'schen Behauptung, dass die Erregung des Vagus die „Ausathmung anrege", wenn es eines solchen Beweises nach den bisherigen Erfahrungen überhaupt noch bedarf. Die Unthätigkeit der Bauchmuskeln kann sogar so lange anhalten, dass selbst heftige Bewegungen des Maules und der Nase und, bei nicht narcotisirten Thieren, krampfhafte Bewegungen des ganzen Körpers als Zeichen grösster Athemnoth früher eintreten, als Zuckungen der Bauchmuskeln. Was Budge veranlasst haben mag, Spuren solcher Contractionen anzunehmen, vermag ich nicht zu sagen, wenn nicht Stromschleifen es gewesen sind.

Ebensowenig als an Kaninchen, sieht man bei Hunden und Katzen Contraction der Bauchmuskeln bei Reizung des centralen Vagusendes. Mindestens ist dies nicht der Fall, so lange Zwerchfell und Thorax in der Inspirationsstellung verharren. Dies muss besonders für die Hunde auffallen, bei denen doch durch Vagusreizung Erbrechen erregt werden soll, wie wenigstens Remak und Budge angeben. Dagegen sieht man sehr heftige Bewegungen der Bauchdecken in den Fällen, wo der Respirationsstillstand nur ein vorübergehender ist, wie sie oben geschildert wurden. Da nun vom Magen aus notorisch auf reflectorischem Wege Erbrechen eingeleitet werden kann und da

diese Erregung doch höchst wahrscheinlich durch die Vagi geleitet wird, so muss man geneigt sein, anzunehmen, dass sich im Halsstamme des Vagus zwei Arten von Fasern finden; die einen, vom Magen kommenden, würden im Stande sein, Erbrechen und damit Contraction der Bauchmuskeln zu bewirken; die anderen, aus dem Plexus pulmonalis stammend, würden die hier abgehandelte Einwirkung auf das Zwerchfell und die Brustmusculatur haben. Es wird dann natürlich bei electrischer Erregung des Halsstammes möglich sein, dass bald die Wirkung der einen, bald die der anderen Faserart mehr in die Augen springt. Da sich Hunde gerade durch die Leichtigkeit, mit welcher bei ihnen Erbrechen eintritt, auszeichnen, so wäre es ganz erklärlich, warum gerade bei ihnen die Contraction der Bauchmuskeln leichter zur Beobachtung kommt. Man müsste eben annehmen, dass jene vom Magen stammenden Fasern bei diesen Thieren vorzugsweise erregbar sind. In der That ist es mir vorgekommen, dass schon das blosse Oeffnen der Bauchhöhle und die leiseste Berührung des Magens mit der Hand genügte, um mehr oder weniger heftige Brechbewegungen bei Hunden zu bewirken. Diese Empfindlichkeit ist sehr störend für Versuche der Art, da natürlich eine Beobachtung der Athmung bei solchen Zuständen unthunlich ist. Hat man aber einen ruhig athmenden Hund, besonders bei geschlossener Bauchhöhle, so kann man sich überzeugen, dass auf Vagusreizung von passender Stärke energische Contraction des Zwerchfells und Hebung der Rippen ohne Zusammenziehung der Bauchmuskeln erfolgt. Stärkere und schwächere Reize sind aber gleich unbrauchbar zur wirklichen Nachweisung unserer Annahme von den beiden Faserarten; die ersteren, weil man sich dabei nicht genügend vor Stromschleifen schützen kann; die anderen, weil sie jene heftigen Athembewegungen zur Folge haben, bei denen die Contraction der Bauchmuskeln möglicher Weise nur Symptom der verstärkten Athmung ist.

So viel steht jedenfalls fest, dass die Annahme solcher ver-

schieden wirkender Fasern durch unsere Versuche sehr unterstützt wird, dass man daher nicht im Mindesten berechtigt sein kann, die beim Erbrechen durch Vagusreizung auftretenden Bauchmuskelcontractionen den Fasern zuzuschreiben, deren Wirkung wir hier allein zu untersuchen haben, nämlich derer, welche zu dem Respirationsmechanismus in einer directen, innigen Beziehung stehen. Wir werden auf diesen Punct noch zurückzukommen haben, wenn es sich um die genauere Bestimmung des Ursprunges dieser Fasern handeln wird.

---

2. Verstärkte Athmung bei Erhaltung des einen Vagus.

Schon oben wurde bemerkt, wie häufig bei Kaninchen verstärkte Athmung vorkommt, wobei die Rippen bald mehr, bald weniger stark gehoben werden. Die Betheiligung der Muskeln dabei ist je nach dem Grade der Dyspnoe verschieden. Zuweilen bleiben die Scaleni vollkommen ruhig, während die Rippen durch die Wirkung der Intercostales externi, Intercartilaginei und Levatores costarum breves gehoben werden, zuweilen betheiligen sich auch jene bei der rhythmischen Athmung. Man kann diese Betheiligung sehr gut sehen, wenn man, wie schon Traube gethan hat, die Scaleni an ihrer Rippeninsertion ablöst, wo man dann sieht, wie sie sich regelmässig bei jeder Inspiration verkürzen, ohne dass man durch eine passive Annäherung ihrer Ansatzpuncte getäuscht wird. In anderen Fällen sieht man sie ruhig bleiben und bemerkt, wie sich die Rippen bei der Hebung unter ihnen fortschieben.

Die active Exspiration ist in allen diesen Fällen meist nur wenig verstärkt. Die Obliqui externi contrahiren sich vielleicht etwas stärker, als in der Norm, aber zu einer Mitwirkung der Obliqui interni oder des Transversus abdominis kommt es bei diesen mässigen Graden verstärkter Athmung selten, dazu bedarf es schon höherer Grade der Dyspnoe.

Ist die Athmung normal, so kann man sich natürlich sogleich jeden beliebigen Grad von Dyspnoe verschaffen, wenn man eine Pleurahöhle ansticht, oder beide, und dann künstliche Athmung einleitet, welche man beliebig regelt. Diese letztere Methode der Untersuchung ist natürlich vorzuziehen, da sie erlaubt, die Bedingungen des Versuches nach Belieben zu verändern. Eine Pleurahöhle muss jedenfalls geöffnet werden, wenn es sich darum handelt, die Betheiligung der einzelnen Muskeln an der Hebung der Rippen gesondert zu erforschen.

Die Erscheinungen, welche man am Thorax beobachtet, wenn man in diesen Fällen das centrale Ende eines Vagus reizt, sind äusserst mannigfaltig; im Ganzen sind sie aber genau dieselben, wie sie sich am Thorax der Hunde und Katzen schon bei normaler Athmung zeigen. Die Art und Weise der Vaguswirkung ist stets dieselbe; nur der Grad dieser Wirkung, der Umfang der ins Spiel kommenden Muskeln wechselt je nach dem Grade der Reizung und der Grösse der schon vorhandenen Dyspnoe.

Bei einem gewissen Grade der Reizung wird die Respiration nur beschleunigt, und zwar betrifft diese Beschleunigung Zwerchfell und Heber der Rippen gleichmässig, so dass die normale Uebereinstimmung nicht gestört wird, aber diese Beschleunigung ist niemals bedeutend. Bei nur geringer Verstärkung der Reizung schlägt sie für das Zwerchfell in dauernden Stillstand um, welcher natürlich nur im Zustande der Zusammenziehung stattfindet. Das Verhalten des Thorax dagegen kann bei dieser Reizstärke verschieden sein. Entweder wird er bei Beginn der Reizung gehoben und geräth dann in eine Reihe kurzer und hastiger Bewegungen, in welchen die Rippen sich niemals weit von der Lage der grössten Erhebung entfernen. Oder er sinkt nach der ersten starken Hebung zurück und bleibt dann stehen in einer Lage, welche bald mehr, bald weniger, oft nur um ein sehr Geringes von der Lage der Exspiration abweicht. Das Innehalten einer solchen Lage kann aber nur

durch eine stetige, wenn auch geringe Zusammenziehung von rippenhebenden Muskeln bewirkt werden. Bei noch grösserer Stromstärke endlich kann es kommen, dass der Thorax dauernd im Zustande starker Erweiterung stehen bleibt, entsprechend einer starken stetigen Contraction seiner Rippenheber.

Solche Fälle sind es offenbar gewesen, welche SCHIFF am Kaninchen und Meerschweinchen beobachtet hat, so dass wir also seine Beobachtung bestätigen können, und wir sehen daher, dass wir oben mit Recht den Verdacht als sehr unwahrscheinlich zurückgewiesen haben, als könnte sich dieser Forscher durch eine passive Auswärtsbewegung der unteren Rippen haben täuschen lassen. Auffallend könnte nur erscheinen, dass SCHIFF in Bezug auf die Stromstärke gerade das Umgekehrte angiebt, als ich soeben gethan habe. Nach ihm ist gerade die dauernde Hebung der Rippen bei schwächeren Strömen zu beobachten, bei stärkeren soll der Stillstand in erhobenem Zustande nur ein kurz dauernder sein. Dieser scheinbare Widerspruch schwindet aber, wenn man bedenkt, dass ich mich im Allgemeinen stets schwächerer Ströme zur Nervenreizung bediene, als dies sonst gebräuchlich ist, und die allzustarken Inductionsströme aus Furcht vor unipolaren Abgleichungen ganz vermeide. Ein Blick auf die Zahlenangaben des Rollenabstands in den weiter unten mitgetheilten Versuchsprotocollen wird dies sogleich zeigen. Was ich also hier starke Ströme nenne, das sind gewiss in SCHIFF's Sinne nur mittelstarke oder schwächere. Wir befinden uns also in vollkommener Uebereinstimmung mit einander. Was aber die nach SCHIFF bei noch stärkerer Reizung eintretende Ermüdung der übermässig angespannten Einathmungsmuskeln anlangt, so hat diese Annahme gar nichts Unwahrscheinliches, obgleich es schwer hält, den Beweis zu führen, dass Stromschleifen daran gar keinen Antheil hatten. Es giebt aber noch eine Erklärung für diese Erscheinung, welche wir uns jedoch für einen anderen Ort aufsparen, da sie hier noch nicht verständlich sein würde.

Diese Auffassung findet ihre Bestätigung durch die fernere Bemerkung SCHIFF's: „Schwächt man die Ströme ab, welche auf das centrale Vagusende einwirken, so beobachtet man, dass bei einem gewissen Grade der Abschwächung die Athembewegungen nicht mehr ganz aufhören, sondern nur seltener werden. Die Inspiration ist dabei viel tiefer und es macht den Eindruck, als sei die Ausathmung, (nicht die Pause,) verlängert und zugleich erschwert, mühevoll geworden. Schwächt man den Strom immer noch mehr, so werden die Athemzüge nicht seltener, sondern im Gegentheil häufiger." Unschwer wird man in dieser Darstellung jene Fälle von unvollkommenem Stillstand erkennen, wie sie sowohl am Zwerchfell als am Thorax vorkommen und im ersten Abschnitt bei Hunden und Katzen geschildert wurden. Ich habe sie in der That ebenfalls bei Kaninchen gesehen. Sie treten ein, wenn die Stromstärke um ein Geringes zu schwach ist, um stetigen Stillstand zu bewirken, und sie bilden daher den naturgemässen Uebergang von der blossen Beschleunigung der Athmung zu dem vollständigen Stillstand in dauernder Inspirationsstellung. Was SCHIFF als verlängerte Exspiration bezeichnet, ist eben nur der Ausdruck der unvollkommenen Erregung der Inspiratoren, welche diese nicht in stetiger Zusammenziehung zu halten vermag. Durch diese Angabe ist also erwiesen, dass SCHIFF's schwächere Ströme mit unseren starken in ihrer Wirkung zusammenfallen.

Die Einwirkung der Reizung ist niemals auf alle Inspirationsmuskeln gleich stark. Ebenso wie ein gradueller Unterschied zwischen Zwerchfell und Rippenhebern besteht, lassen sich auch unter diesen selbst Unterschiede wahrnehmen. Hat man eine Pleurahöhle angestochen und trennt dann zwei Intercostalräume, welche durch einen dritten getrennt sind, vollständig von vorne bis hinten an die Wirbelsäule, so dass also zwei Rippen mit einander nur durch ihre unversehrten Intercostales zusammenhängen, so sieht man zunächst beide Rippen nach Oben und Aussen gehen und zugleich sich so drehen, dass der untere

Rand mehr nach Vorn zu stehen kommt. Es ist dies auch ganz natürlich, denn da das so isolirte Rippenpaar nicht mehr durch die Anheftung an die unterhalb gelegenen Rippen und mittelbar an das Becken nach Unten, auch nicht durch die Elasticität der Lunge nach Innen gezogen wird, so folgt es dem jetzt allein übrig bleibenden Zuge der Intercostales und der Configuration seiner eigenen Gelenke, und diese muss natürlich eine höhere Stellung zur Folge haben. Eine solche höhere Stellung ist aber bekanntlich stets mit einer Drehung der Rippen im oben angegebenen Sinne verbunden. Hat man nun nicht etwa durch künstliche Respiration die Bewegung des Thorax ganz zum Stillstand gebracht, so sieht man, dass beide Rippen bei jeder Inspiration nach Oben gehen, bei jeder Exspiration wieder in ihre Ruhestellung zurückkehren. Diese Bewegungen werden aber viel beträchtlicher, wenn man an die untere Rippe einen Faden knüpft, diesen in passender Weise über eine Rolle führt und belastet, so dass er durch einen abwärts gerichteten Zug die Rippen wieder in eine solche Lage bringt, wie sie vor der Durchschneidung des Zwischenrippenraumes innegehalten wurde. Man sieht also, dass die rippenhebenden Muskeln dadurch einen viel günstigeren Angriffspunkt für ihre Wirkung bekommen. Fixirt man die obere Rippe mit einer Pincette, so wird die untere Rippe der oberen bei jeder Inspiration genähert, aber dabei viel weniger gehoben, als vorher beide zusammen. Fixirt man die untere, so wird die obere bei der Inspiration um ein klein wenig nach abwärts gezogen.

Alle diese Bewegungen deuten auf die Wirkung der Intercostales externi, welche nach der Hamberger'schen Theorie gerade jene Bewegungen bewirken müssen und auch in der That bewirken. Aber auch die Levatores costarum wirken dabei mit, wie Traube gezeigt hat. Denn isolirt man eine Rippe ganz, indem man sowohl den oberen als den unteren Intercostalraum trennt, so wird sie dennoch bewegt und bei jeder Inspiration nach Oben geführt, welche Bewegung aber sogleich verschwindet,

sobald man den an sie sich ansetzenden Levator brevis durchschneidet. Es genügt aber, um die Rippe oder ein Rippenpaar unbeweglich zu machen, wenn man die betreffenden Levatores breves und ausserdem auf einer Sonde den Intercostalis externus und die zwischen den Knorpeln enthaltene Portion des Internus, welche man als M. intercartilagineus von dem Intercostalis internus trennen muss, durchschneidet. Der unversehrte Intercostalis internus ist also nicht im Stande die Rippen zu bewegen. Ich glaube jedoch, dass diese Muskeln bei hochgradiger Dyspnoe zur Exspiration beitragen, und die Rippen abwärts ziehen, da ich in solchen Fällen allerdings gesehen habe, dass die Rippen weiter nach Unten gezogen wurden, als ihrer Ruhestellung entspricht.

Reizt man in diesen Fällen mässiger Dyspnoe, wo entweder eine Pleurahöhle unverletzt ist, oder eine angemessene künstliche Athmung unterhalten wird, so sieht man bei passender Stromstärke Stillstand der Rippen in erhobenem Zustande sowohl, wenn eine Rippe ganz von ihren Nachbarn isolirt ist, und also nur noch durch den Levator costae brevis gehoben werden kann, als auch bei Durchschneidung des letzteren, wenn die Rippe noch durch die Intercostalmuskeln mit der nächst unteren verbunden ist. Da nun in diesem Falle nur die untere Rippe von ihrem Levator brevis gehoben werden kann, so muss die obere dabei durch die Wirkung der Intercostales externi und Intercartilaginei gehoben worden sein. Es folgt daraus, dass durch die Reizung eines centralen Vagusendes Tetanus der Levatores costarum sowohl als der Intercostales externi und Intercartilaginei herbeigeführt werden kann. Ob sich nun diese beiden Muskelgruppen gegen die reflectorische Erregung vom Vagus aus ganz gleich verhalten, oder ob ein Unterschied in der Empfänglichkeit beider bestehe, dergestalt dass die eine Gruppe schon bei geringeren Graden der Reizung in dauernde Zusammenziehung verfällt, als die andere, das habe ich nicht auszumachen vermocht. Jedenfalls

muss ein solcher Unterschied, wenn er besteht, nur sehr gering sein, da mir doch sonst jedenfalls ein Mal zufällig eine Reizstärke nicht hätte entgehen können, wo die eine Gruppe schon tetanisirt wurde, die andere noch nicht.

Ebensowenig kann ich sagen, ob ein Unterschied besteht zwischen den oberen und unteren Rippen. Da die letzteren, wie man aus TRAUBE's Versuchen weiss, bei geringeren Graden von Dyspnoe schon in Bewegung gerathen, als die oberen, so war eine solche Verschiedenheit in Bezug auf die Erregung vom Vagus aus ebenfalls denkbar. Aber auch hier muss ich mich mit der Behauptung begnügen, dass ein solcher Unterschied, wenn er besteht, nur sehr gering sein kann. Dass man sich bei den unteren Rippen natürlich nicht etwa durch die oben besprochenen passiven Bewegungen stören lassen darf, versteht sich von selbst. Man schützt sich am besten davor durch vollständige Abtrennung der Rippen vom Zwerchfell, indem man die betreffenden Intercostalräume spaltet und dann die Rippenknorpel längs der Insertion des Zwerchfells durchschneidet. Führt man dies auch bei den oberen Rippen aus, so werden sie noch freier beweglich, und man sieht dann, dass sich die Rippen bei jeder Inspiration auch nach Aussen bewegen, so dass sich die durchschnittenen Enden der Knorpel von einander entfernen und der Durchmesser des Thorax von Vorn nach Hinten und von Rechts nach Links dabei grösser wird. Die Drehung der Rippe mit ihrem unteren Rande nach Vorn, welche sonst bei jeder Hebung erfolgt, hört dabei ganz auf. Dies erläutert sehr gut den Einfluss, welchen die Befestigung der Rippen am Thorax auf ihre Bewegungen ausübt. Die Erklärung dafür ergiebt sich sehr leicht aus der doppelten Einlenkung der Rippen an der Wirbelsäule.

Sehr merkwürdig ist nun aber das Verhalten der Scaleni in diesen Versuchen. Es kommt vor, dass diese Muskeln sich bei der Athmung trotz der Oeffnung der einen Pleurahöhle gar

nicht betheiligen. In diesen Fällen kann es kommen, dass sie auch bei Erregung des Vagus vollkommen unthätig bleiben, auch bei Anwendung starker Ströme, wo die Rippen in dauernder Erhebung stille stehen. Zuweilen aber kommen sie auch dann schon in eine zitternde Bewegung, oder sie machen bei Beginn der starken Reizung eine starke Zusammenziehung und erschlaffen wieder entweder dauernd, oder die Erschlaffung wird auch ab und zu von einer ruckweisen, mehr oder weniger starken Zuckung unterbrochen. Sind die Scaleni aber schon durch die Dyspnoe in Thätigkeit gerathen, so kann ihre Thätigkeit auch durch Reizung der Vagi jedesmal verändert werden. Entweder nämlich wird der Rhythmus ihrer Zusammenziehungen beschleunigt, und dieses findet bei Stromstärken statt, welche schon vollkommen ausreichen, dauernde Hebung der Rippen zu bewirken; oder auch die Scaleni gerathen in stetigen Tetanus, was auch in den vorigen Fällen stets eintritt, wenn man nur die Stromstärke genügend steigert. Dieser Tetanus kann entweder während der ganzen Dauer der Reizung anhalten, oder der Muskel erschlafft allmählich noch während der Reizung, macht noch einzelne Zuckungen und kommt auch wol schliesslich ganz zur Ruhe. Welcher von diesen Fällen eintritt, das hängt eben so sehr von der Stärke der Reizung, als auch von dem Grade der vor der Reizung bestandenen Dyspnoe ab.

Den Serratus posticus endlich, welcher nur bei den höchsten Graden der Dyspnoe in Thätigkeit geräth, sieht man auch sehr selten während der Vagusreizung in Zusammenziehung gerathen. Doch kommen Fälle vor, sowohl wo der Rhythmus der schon bestehenden Zusammenziehungen beschleunigt wird, als auch solche, wo er in einen förmlichen, meist nur kurze Zeit anhaltenden Tetanus geräth. Doch bedarf es dazu stets starker Reizung, und niemals ist es mir gelungen, diesen Muskel unzweifelhaft in Thätigkeit zu versetzen, wenn er nicht schon vorher an der Athmung sich betheiligte.

Fassen wir alle diese vereinzelten Thatsachen zusammen, so lassen sich folgende Sätze aufstellen, deren nähere Würdigung einer späteren Stelle aufbehalten bleibt:

1. Sämmtliche Inspirationsmuskeln können vom Vagus aus reflectorisch erregt werden, sei es zu vermehrter Zahl von Zusammenziehungen, sei es zu stetiger, tetanischer Verkürzung.
2. Stärke und Dauer dieses Tetanus können innerhalb sehr weiter Grenzen wechseln. Je stärker der Tetanus ist, desto schneller geht er vorüber und umgekehrt.
3. Die Möglichkeit dieser Erregung ist nicht für alle Inspirationsmuskeln gleich leicht, sondern es lässt sich eine Stufenleiter aufstellen, dergestalt dass die späteren Glieder der Reihe schwerer erregt werden, als die früheren.
4. Diese Reihe ist dieselbe, wie die, welche Traube für die allmählich sich steigernde Dyspnoe aufgestellt hat, nämlich: Zwerchfell, Intercostales externi und Intercartilaginei, Levatores costarum breves, Scaleni, Serratus posticus.
5. Jemehr Glieder dieser Reihe schon aus vorhandenen dyspnoëtischen Gründen in Thätigkeit sind, desto leichter werden sie auch reflectorisch vom Vagus aus beeinflusst.
6. Selten nur gelingt es, einen ganz unthätigen Muskel der Reihe durch Vagusreizung zur Thätigkeit zu bringen; diese Thätigkeit ist dann stets nur schwach und schnell vorübergehend.
7. Hebt man das Athembedürfniss ganz auf, so dass alle Athembewegungen verschwinden, so gelingt es auch nicht, sie durch Vagusreizung in Gang zu bringen.

Ganz das Gegentheil von alle dem zeigen die Exspirationsmuskeln während der Vagusreizung. Nicht blos der Obliquus externus des Kaninchen, sondern auch die übrigen Exspiratoren

erschlaffen während der Vagusreizung vollkommen, so lange diese zur stetigen Contraction der Inspiratoren führt. Wenn aber gegen das Ende der Reizung, wo die Inspiratoren schon zu erschlaffen anfangen, oder bei sehr starken Strömen Contractionen der Bauchmuskeln auftreten, so kann man dies natürlich nicht als eine Wirkung der Vagusreizung ansehen, im ersten Falle nicht, weil es viel wahrscheinlicher auf die durch den Respirationsstillstand bewirkte Dyspnoe geschoben werden muss, im zweiten Falle, weil die Gefahr vor Stromschleifen, welche etwa den Laryngeus superior treffen, dann gerade sehr gross ist. Aus diesen Gründen glaube ich mich berechtigt, den Satz aufzustellen:

8. Die Exspirationsmuskeln können vom Vagus aus nicht reflectorisch erregt werden; im Gegentheil die vor der Reizung schon rhythmisch thätigen Exspiratoren erschlaffen während der Reizung.

Ueber die verstärkte Athmung der Hunde und Katzen habe ich nur wenig beizufügen, da sie sich von der normalen Athmung dieser Thiere nicht so wesentlich unterscheidet, wie dies bei Kaninchen der Fall ist, und da sie andererseits mit den verstärkten Athembewegungen des Kaninchen ziemlich übereinstimmen. Demgemäss sind auch die Erscheinungen der Vagusreizung in diesen Fällen ganz ähnlich denen, welche schon oben für die normale Athmung dieser Thiere und soeben für die verstärkte Athmung des Kaninchen geschildert worden sind. Der Umfang der Muskelzusammenziehungen, welche durch Vagusreizung herbeigeführt werden können, ist auch hier stets abhängig von dem Umfang der schon vorhandenen Bewegungen. Dies tritt ganz besonders deutlich hervor in den Versuchen mit künstlicher Athmung, wo man es in seiner Gewalt hat, jeden beliebigen Grad von Athembewegungen herbeizuführen. Man sieht dann stets, wie bei Kaninchen, diejenigen Muskeln, welche schon

an sich thätig sind, bei Vagusreizung in beschleunigte Bewegung gerathen, welche bei genügend starker Reizung in dauernden Tetanus übergeht. Die Stärke und Dauer dieses Tetanus ist abhängig von dem Grade der Thätigkeit, welchen die betreffenden Muskeln schon vor der Reizung zeigen. Zuweilen gelingt es auch einen Muskel zu schwacher, kurz dauernder Thätigkeit zu bringen, welcher vor der Reizung noch ruhig war. Die Exspirationsmuskeln erschlaffen, wenn sie vorher thätig waren, stets während der Vagusreizung, wenn die Inspiratoren in dauernde Zusammenziehung gerathen.

---

3. Verstärktes Athmen nach Durchschneidung beider Vagi.

Das verstärkte Athmen nach Durchschneidung der Vagi unterscheidet sich von den dyspnoëtischen Zuständen durch Athemhindernisse sehr wesentlich durch die geringere Zahl der Athemzüge. Dabei kann nun die Ursache der verstärkten Athmung entweder nur in der Durchschneidung der Vagi gelegen sein, oder es besteht ausserdem noch ein Athemhinderniss. In beiden Fällen werden natürlich die Erscheinungen nicht genau dieselben sein können.

Im sechsten Capitel haben wir die Veränderungen kennen gelernt, welche die Athmung nach Durchschneidung der Vagi erfährt. Wir kamen dadurch zu dem Schluss, dass diese Nerven im normalen Zustande stets einer Erregung ausgesetzt sind, deren Wegfall eben die Veränderungen der Athmung bedingt, die wir nach der Durchschneidung beobachten. Daraus geht nun hervor, dass die Reizung eines Vagus im Stande sein muss, diese Veränderungen wieder aufzuheben und die Athmung wieder auf den Zustand zu bringen, welchen sie vor der Durchschneidung hatte; dass eine noch stärkere Reizung aber im Stande sein muss, alle die Erscheinungen herbeizuführen, welche wir in den vorigen Abschnitten kennen gelernt haben.

Alles dies ist nun auch wirklich der Fall. Schon im siebenten Capitel haben wir gesehen, dass die seltenen aber sehr intensiven Bewegungen des Zwerchfells bei Vagusreizung schneller und weniger tief werden, dass aber bei stärkerer Reizung ein tetanischer Stillstand des Zwerchfells zu Stande kommt. Ganz ebenso ist es nun mit den Bewegungen des Thorax. Wenn man nun aber bedenkt, dass nur diejenigen Muskelwirkungen durch die Vagusreiznng beseitigt werden können, welche eben in Folge der Vagusdurchschneidung aufgetreten sind, dass andererseits Muskeln, welche nicht schon an sich in Bewegung sind, wie wir in den vorhergehenden Abschnitten gesehen haben, durch Vagusreizung nur schwer, oder gar nicht in Thätigkeit versetzt werden können, dann wird man sich eine Vorstellung machen können von der Mannichfaltigkeit der Erscheinungen, welche bei diesen Versuchen sich darbieten können. In der That kann man eben Alles Mögliche sehen, bald dass ein bewegter Muskel erschlafft, bald dass ein unbewegter in Bewegung geräth, oder doch wenigstens, dass eine Bewegung verstärkt wird und in tetanische Zusammenziehung übergeht. Jeder folgende Versuch scheint die Ergebnisse des vorigen umzustossen und man bewegt sich in einem wahren Labyrinth, aus welchem nur eine genaue Beachtung der oben angedeuteten Grundsätze den Ausgang finden lässt. Ich muss gestehen, dass ich selbst sehr lange diesen Faden nicht zu finden vermochte, und schon ob der Unbeständigkeit der Erscheinungen zu verzweifeln begann, bis eine sorgfältige Sichtung meines Versuchsmaterials und eine Vergleichung desselben mit den durch Vagusdurchschneidung gewonnenen Anschauungen mir gestattete, das anscheinend ganz Regellose unter eine einfache, Alles umfassende Formel zu bringen.

Ist die Athmung normal, der Thorax also unbewegt (wir gehen hier wieder vom Kaninchen aus, als demjenigen Thier, bei welchem die mannichfaltigsten Verschiedenheiten eintreten können, und welches auch am häufigsten zu den Versuchen

gedient hat), so gerathen, wie man sich erinnern wird, nach Durchschneidung beider Vagi die eigenthümlichen Rippenheber stets, die Scaleni nicht immer in Thätigkeit. Hat man einen solchen Fall, so werden bei schwacher Reizung die Athembewegungen häufiger und schwächer, und wenn man dann die Reizung noch ein wenig verstärkt, so gelingt es, den Thorax ganz zur Ruhe zu bringen, während das Zwerchfell fortfährt, in beschleunigtem Tempo, etwa wie es dem normalen Zustande entsprechen würde, sich zusammenzuziehen. Es ist also jetzt durch künstliche Reizung gerade der Grad von Einwirkung auf die Medulla oblongata ausgeübt, welcher vor der Durchschneidung von den peripherischen Endigungen der Vagi her ausgeübt worden war. Steigert man jetzt die Reizung noch mehr, so treten ganz die Erscheinungen auf, welche in den vorigen Abschnitten beschrieben worden sind, das Zwerchfell geräth in stetige Zusammenziehung und zuweilen gelingt es auch eine geringe Hebung der Rippen zu bewirken, wenn man die stärksten Reize anwendet. Die Scaleni bleiben aber stets ganz unthätig.

Waren aber diese Muskeln schon gleich nach der Durchschneidung in Thätigkeit gerathen, was natürlich eintreten wird, wenn schon ein stärkerer Bewegungsantrieb von der Medulla oblongata ausgeübt wird, so erschlaffen sie bei schwächerer Reizung, um sich bei stärkerer tetanisch zusammenzuziehen; sie verhalten sich also ganz, wie in den vorher erwähnten Fällen die übrigen Rippenheber. Eine Mitwirkung des Serratus sieht man selten, wenn er sich aber in Fällen grosser Athemnoth contrahirt, so verhält er sich ebenso, wie es eben vom Scalenus angegeben worden ist.

Gerade so wie der Scalenus bei steigender Dyspnoe stets später in Thätigkeit geräth, als die Intercostales und Levatores costarum, ebenso ist es umgekehrt um so leichter, ihn bei einem bestimmten Grade der Reizung zum Erschlaffen zu bringen, als jene; wogegen bei den stärkeren Graden der Reizung es wieder schwerer ist, ihn in stetigen Tetanus zu versetzen. Daraus ist

klar, dass die Wirkung der Reizung alle möglichen Combinationen geben kann, nämlich von der Wirkung schwächerer zu der stärkerer Reizung aufsteigend folgende:

Erschlaffung des Scalenus, Fortwirken der übrigen Muskeln.

Vollständige Ruhe des Thorax.

Erschlaffung des Scalenus, Tetanus der anderen Muskeln.

Tetanische Zusammenziehung aller Muskeln.

Noch mannichfaltiger werden natürlich die Combinationen, wenn wir noch auf das Zwerchfell und den Serratus posticus Rücksicht nehmen. Aber alle diese Fälle folgen eben nur einem Gesetze und lassen sich aus diesem mit Leichtigkeit ableiten.

Dieses Gesetz lautet:

9. Nach Durchschneidung beider Vagi kann man die Athembewegungen durch künstliche Reizung der centralen Enden wieder zum normalen Verhalten zurückführen, bei stärkerer Reizung aber alle die Erscheinungen hervorrufen, welche sich einstellen, wenn ein Vagus gereizt wird, der andere aber noch unversehrt ist.

Es ist natürlich hierbei ganz gleichgültig, ob man nur einen der beiden durchschnittenen Nerven reizt, oder beide zugleich, nur dass man im letzteren Falle stets mit verhältnissmässig schwächeren Strömen ausreicht. Auch bedarf es nur einer ganz kurzen Erwähnung, dass in allen den Fällen, wo das Zwerchfell dauernd contrahirt ist, die Bauchmuskeln vollkommen erschlaffen.

Man wird sich des oben erwähnten Versuches von Lindner erinnern, in welchem der Scalenus beobachtet wurde. Er schiebt die regelmässige Zusammenziehung dieses Muskels auf den Umstand, dass die in die Luftröhre eingebundene Canüle zum Theil durch Schleim verstopft war.[1]) Ist dies richtig, so konnte nach unseren jetzigen Kenntnissen die Vagusreizung keine an-

[1]) A. a. O. 29 f.

dere Wirkung haben, als dass der Scalenus entweder in seinen Zusammenziehungen fortfuhr (vielleicht etwas beschleunigt wurde), oder sich tetanisch contrahirte. Dass das Letztere nicht geschah, giebt LINDNER ausdrücklich an; wir müssten also annehmen, dass LINDNER keine sehr starke Reizung anwandte. War aber die Ursache der rhythmischen Scalenuscontractionen nicht das Repirationshinderniss, sondern nur die Durchschneidung der Vagi, so war damit die Möglichkeit gegeben, dass der Muskel während der Reizung erschlaffte. Dies scheint nun auch in der That der Sinn der LINDNER'schen Bemerkung sein zu sollen. Wie man sie aber auch auslegen möge, soviel ist gewiss, dass sie in keinem Falle mit den von mir gemachten Erfahrungen im Widerspruch ist. Ich muss hierauf um so mehr Gewicht legen, als LINDNER von allen Forschern in dieser Frage der Einzige ist, welcher den Scalenus besonders beobachtet hat.

Ebenso ist klar, dass meine Beobachtungen in Uebereinstimmung sind mit denen von SCHIFF, welche schon oben besprochen wurden. SCHIFF scheint, wie schon bemerkt, stets beide Vagi durchschnitten zu haben, ich hätte also den Vergleich seiner Versuche mit den meinigen eigentlich für diese Stelle aufsparen müssen; doch konnte dies schon im zweiten Abschnitt geschehen, da die Ergebnisse für stärkere Ströme ja die nämlichen sind. So schwache Ströme, welche den Thorax, wenn sonst kein Respirationshinderniss besteht, ganz zum Stillstand in unerhobenem Zustande bringen, hat SCHIFF entweder nicht versucht, oder er hatte zufälliger Weise stets Thiere mit verstärkter Athmung.

Ich habe die Mittheilung von Versuchsprotocollen als Beläge meiner Behauptungen bis hierher aufgespart, theils um den Gang der Darstellung nicht zu sehr zu unterbrechen, theils weil in jedem einzelnen Versuche doch meist die verschiedensten

Dinge sich zeigen, welche in der Darstellung getrennt werden mussten. Ich gebe daher jetzt hier eine Reihe von Versuchen, bei deren Auswahl es mir natürlich darum zu thun war, wenigstens für die wichtigsten Thatsachen Beispiele zu liefern.

Erster Versuch. Junges Kaninchen, auf dem Rücken befestigt, 18 Athmungen in 15 Secunden.

Zur Reizung dient der Magnetelectromotor mit einem DANIELL'schen Element und gewöhnlicher Anordnung.

Rechter Vagus blosgelegt und durchschnitten. 18 Athmungen in 15 Secunden. Brust und Oberbauchgegend blosgelegt. Der Thorax ist vollkommen ruhig, der Obliquus externus zieht sich bei jeder Exspiration zusammen.

Reizung bei 140mm Rollenabstand. Das Zwerchfell zieht sich zusammen, und bleibt in mässiger Contraction stehen, der Thorax bleibt unbewegt, der Obliquus erschlafft.

Bei stärkerer Reizung dasselbe, nur dauert der Stillstand kürzere Zeit.

Zweiter Versuch. Grosses Kaninchen, auf dem Rücken befestigt, Hals, Brust und Oberbauchgegend entblösst. 21 Athmungen in 15 Secunden.

Zur Reizung dient ein sehr grosser Magnetelectromotor[1]) mit einem Daniell und HELMHOLTZ'scher Einrichtung, doch ohne Eisenkern.

Linker Vagus präparirt und durchschnitten: 16 Athmungen in 15 Secunden.

Reizung bei 80mm Rollenabstand: Das Zwerchfell contrahirt sich und bleibt in stetiger Zusammenziehung, der Thorax bleibt vollkommen ruhig.

Reizung bei 40mm Rollenabstand: Ganz dasselbe.

---

[1]) Derselbe, mit welchem GILCHRIST seine Versuche anstellte. Die Wirkungen desselben sind schon ohne Eisenkern sehr bedeutend und stehen denen des sonst angewandten kleinen Apparates wenig nach.

Reizung bei 0mm Rollenabstand:[1]) Eben so.

Wird die Reizung längere Zeit fortgesetzt, so tritt Unruhe ein, dann Bewegungen des Thorax, welche immer heftiger werden.

Der fünfte Intercostalraum linkerseits wird angestochen. Darauf sehr starke Contraction des Zwerchfells, Hebung der Rippen, Zusammenziehungen der an der Rippeninsertion abgelösten Scaleni. 20 Athmungen in 15 Secunden.

Bei Reizung des Vagus bleibt das Zwerchfell zusammengezogen, der Thorax in mässig erhobener Stellung, die Bündel des Scalenus zeigen eine zitternde Bewegung bei stetiger Verkürzung.

Dritter Versuch. Grosses, starkes Kaninchen, durch Injection von 0,05 grm. essigsauren Morphins nicht ganz vollständig narcotisirt, auf dem Rücken befestigt. Zur Reizung dient der Magnetelectromotor mit einem Daniell und gewöhnlicher Anordnung.

Es wird Tracheotomie gemacht und eine nicht ganz schliessende Canüle in der Luftröhre befestigt, der rechte Vagus freigelegt und ein Faden darunter geführt. 8 Athmungen in 15 Secunden. Brust und Oberbauchgegend werden freigelegt, der rechte Pectoralis abgetragen, der Vagus durchschnitten. Man sieht bei jeder Inspiration Hebung sämmtlicher Rippen mit Contraction des Scalenus, bei jeder Exspiration Contraction des Obliquus externus.

Reizung bei 120mm Rollenabstand: Das Zwerchfell bleibt in contrahirtem Zustande stehen, der Thorax hebt sich krampfhaft, bleibt kurze Zeit so stehen, erschlafft dann und macht hastige, ziemlich energische Bewegungen.

Beide Pleurahöhlen werden angestochen, und sogleich die künstliche Athmung eingeleitet. Der Thorax kommt ganz zur

[1]) Um Irrungen zu vermeiden, bemerke ich, dass 0mm Abstand bedeutet: bei ganz über einander geschobenen Rollen, denn hier ist offenbar die Entfernung des primären Drahtes vom secundären ein Minimum. Denkt man sich statt jeder Rolle eine einzige Windung, so fallen diese eben dann in eine Ebene.

Ruhe, das Zwerchfell macht in grossen Intervallen schwache Contractionen.

Reizung bei 120mm Rollenabstand: Schwache, kurz dauernde tetanische Zusammenziehung des Zwerchfells, vollkommene Ruhe des Thorax.

Die künstliche Athmung wird ausgesetzt, der Thorax geräth in heftige Bewegung.

Reizung bei 120mm Rollenabstand: Starke, stetige Zusammenziehung des Zwerchfells, Stillstand des Thorax in stark erhobener Stellung.

Die letzten beiden Erfolge werden noch mehrmals hintereinander bei abwechselnd aufgenommener und wieder unterbrochener künstlicher Athmung stets auf die nämliche Weise erhalten. Einige Male bleibt auch das Zwerchfell vollkommen ruhig während der Reizung.

Der linke Vagus wird präparirt und durchschnitten. Darauf erfolgen bei fortgesetzter künstlicher Athmung in ausserordentlich langen Zwischenräumen ziemlich starke Zusammenziehungen des Zwerchfells mit Hebung der Rippen.

Reizung bei 100mm Rollenabstand: Starke tetanische Zwerchfellszusammenziehung und vollständige Erschlaffung der Rippenheber, so dass der Thorax in Ruhestellung verharrt.

Die künstliche Athmung wird ganz unterbrochen; darauf sehr kräftige Zusammenziehungen des Zwerchfells und Hebungen der Rippen. Man sieht ganz deutlich die Zusammenziehung der Intercostales und Intercartilaginei des fünften Intercostalraumes (der vierte und sechste Intercostalraum waren schon vorher bis an die Wirbelsäule gespalten).

Reizung bei 100mm Rollenabstand: Beschleunigung der Athmung.

Reizung bei 80mm Rollenabstand: Contraction des Zwerchfells und der Rippenheber.

Reizung bei 0mm Rollenabstand: Dasselbe.

Allmählich werden die Athmungen seltener. Reizung des Vagus bewirkt stets eine heftige Inspiration, doch folgen darauf noch einzelne spontane. Später ist die Vagusreizung ganz unwirksam.

Vierter Versuch. Kleines Kätzchen, durch essigsaures Morphin narcotisirt, auf dem Rücken befestigt. Bei jeder Inspiration werden die oberen Rippen stark gehoben, die unteren etwas eingezogen.

Zur Reizung dient der Magnetelectromotor mit einem Daniell und gewöhnlicher Anordnung.

Linker Vagus präparirt und durchschnitten.

Reizung bei 100mm Rollenabstand: Beim Beginn der Reizung wird der Thorax sehr stark gehoben, sinkt dann zusammen, jedoch nicht ganz, sondern bleibt in etwas erhobener Stellung stehen. Ab und zu kommt während der Reizung eine etwas stärkere Hebung der Rippen.

Reizung bei 80mm Rollenabstand: Starke Zusammenziehung des Zwerchfells, starke Hebung der Rippen, Stillstand in dieser Stellung während mehrer Secunden.

Diese Erfolge wurden mehre Male stets in der nämlichen Weise erhalten.

Es wird eine Canüle in der Trachea befestigt und nach Oeffnung beider Pleurahöhlen künstliche Respiration eingeleitet. Die Athembewegungen werden selten und schwach, doch werden die Rippen noch immer gehoben.

Reizung bei 100mm Rollenabstand: Das Zwerchfell contrahirt sich und die Rippen werden ziemlich stark gehoben, doch dauert dies nur einen Moment, dann erschlafft das Zwerchfell wieder, und die Rippen sinken zusammen. Nach Unterbrechung der Athmung beginnen die Bewegungen von Neuem.

Unterbrechung der Luftzufuhr: es entstehen sehr starke Contractionen des Zwerchfells und der Rippenheber. Bei Reizung des Vagus bleiben beide in Zusammenziehung stehen.

Auch diese Erscheinungen werden wiederholt in gleicher Weies gesehen.

Fünfter Versuch. Ziemlich grosse Katze, auf dem Rücken befestigt, mit Chloroform narcotisirt. Die Trachea wird blosgelegt, ein Stück aus der vorderen Wand ausgeschnitten, und eine nicht luftdicht schliessende Canüle eingebunden. Der rechte Vagus wird freipräparirt und mit einem Faden umschnürt, worauf ein mehre Secunden anhaltender Stillstand der Athembewegungen mit starker Zusammenziehung des Zwerchfells und Hebung der Rippen erfolgt.

Zur Reizung dient der Magnetelectromotor mit einem Daniell und gewöhnlicher Anordnung.

Reizung bei 120mm Rollenabstand: Die Athembewegungen werden beschleunigt.

Reizung bei 100mm Rollenabstand: Eine starke Inspiration mit Zusammenziehung des Zwerchfells und Hebung der Rippen, dann beschleunigte Athmung.

Reizung bei 80mm Rollenabstand: Starke Zusammenziehung des Zwerchfells und Hebung der Rippen, dann kurze, hastige Bewegungen des Thorax.

Beide Thoraxhälften werden geöffnet, und künstliche Athmung eingeleitet. Der Brustkorb kommt ganz zur Ruhe, das Zwerchfell jedoch macht noch in grösseren Pausen schwache Contractionen.

Reizung bei 80mm Rollenabstand: Eine schwache Zusammenziehung des Zwerchfells, dann Ruhe; Thorax ganz unbewegt.

Die künstliche Athmung wird sistirt, die Zwerchfellsbewegungen werden häufiger, dann kommt auch der Thorax in Bewegung.

Reizung bei 80mm Rollenabstand: Starke Zusammenziehung des Zwerchfells und Hebung der Rippen, welche einige Secunden anhalten; dann beschleunigte Bewegungen.

Künstliche Athmung wieder eingeleitet. Der Erfolg bei Reizung ganz wie vorher.

Als die Athmung wieder ausgesetzt wurde, starb das Thier.

Sechster Versuch. Mässig grosses Kaninchen, auf dem Rücken befestigt, sehr unruhig; Brust und Hals blosgelegt, rechter Vagus präparirt und durchschnitten, beide Pectorales entfernt. Bei jeder Inspiration starke Erhebung sämmtlicher Rippen und des Sternum; der rechte Scalenus, an der Rippeninsertion abgelöst, zieht sich regelmässig bei jeder Inspiration zusammen.

Reizung des rechten Vagus (Magnetelectromotor mit einem Daniell und gewöhnlicher Anordnung) bei:

120mm Rollenabstand: Stillstand des Zwerchfells in contrahirtem Zustande (mittelst einer durch die Bauchdecken eingesteckten langen Nadel beobachtet); Stillstand der Rippen im Zustande mittlerer Erhebung; der Scalenus contrahirt sich rhythmisch weiter.

Unmittelbar nach Aufhebung der Reizung: 11½ Respirationen in 20 Secunden.

Nochmalige Reizung bei 120mm Rollenabstand: Das Zwerchfell steht in Contraction still, die Rippen in erhobenem Zustand, der Scalenus contrahirt sich 8 Mal in 10 Secunden.

Kurze Zeit nach Aufhören der Reizung: 11 Respirationen in 20 Secunden.

Reizung bei 80mm Rollenabstand: Die Erscheinungen, wie früher, nur verharrt jetzt auch der Scalenus in dauernder Contraction.

Der vierte und sechste Intercostalraum werden ganz gespalten, und die fünfte und sechste Rippe dann noch vom Sternum abgelöst. Beide Rippen heben sich stark bei jeder Inspiration. Wird die obere fixirt, so sieht man die untere sich bei jeder Inspiration ein wenig heben und der anderen

nähern, wobei der M. intercostalis externus sich deutlich contrahirt.

Der linke Vagus wird ebenfalls durchschnitten. Grosse Dyspnoe, Tod.

Nachdem die Conjunctiva schon ganz unempfindlich geworden, dauern die Athembewegungen noch fort. Als auch diese aufgehört, kann man durch Reizung des Vagus einige Male eine tiefe Inspiration von kurzer Dauer hervorrufen.

Siebenter Versuch. Kleines, weibliches Kaninchen, auf dem Rücken befestigt; 31 Athmungen in 30 Secunden. Tracheotomie, Brust und Bauch entblösst, linker Pectoralis abgetragen. Man sieht bei jeder Inspiration die achte und neunte Rippe sich nach aussen bewegen, die übrigen Rippen bleiben unbewegt; der Obliquus externus contrahirt sich bei jeder Exspiration.

Beide Vagi werden durchschnitten: sogleich starke Hebung sämmtlicher Rippen bei der Inspiration, starke Contraction des Obliquus bei der Exspiration. 11 Athmungen in 30 Secunden.

Zur Reizung dient der Magnetelectromotor mit einem Daniell und Helmholtz'scher Einrichtung.

Reizung des rechten Vagus bei einem Rollenabstand von 100mm: Das Zwerchfell steht in contrahirtem Zustande still, der Thorax in einer mittleren, von der Ruhe- (Exspirations-) Lage wenig abweichenden Stellung.

Der linke Thorax wird angestochen, der dritte und fünfte Intercostalraum gespalten. Darauf 19 Athmungen in 30 Secunden, starke Contraction des Zwerchfells und sehr starke Hebung sämmtlicher Rippen bei der Inspiration, sehr starke Contraction der in der Linea alba abgelösten schrägen Bauchmuskeln bei der Exspiration.

Reizung bei 120mm Rollenabstand: Die Bewegungen des Zwerchfells werden beschleunigt, der Thorax bleibt in

Ruhestellung stehen, die Obliqui abdominis erschlaffen.

Reizung bei 80mm Rollenabstand: Das Zwerchfell steht in contrahirtem Zustande still, der Thorax deutlich in erhobener Stellung (Inspiration), die Obliqui verharren in Erschlaffung.

Die oben angegebenen Intercostalräume werden bis ganz nach hinten gespalten, so dass nur noch die Levatores costarum breves erhalten bleiben, und die vierte und fünfte Rippe nur durch die Intercostalmuskeln zusammenhängen.

Reizung bei 120mm Rollenabstand: Die vierte und fünfte Rippe werden gleichmässig gehoben, wobei man die Intercostales externi sich verkürzen sieht.

Auch der vierte Intercostalraum wird bis hinten gespalten, der M. levator costae quintae bleibt unversehrt.

Reizung bei 120mm Rollenabstand: Das Zwerchfell zieht sich zusammen, die fünfte Rippe wird gehoben, die Obliqui abdominis erschlaffen.

Reizung bei 150mm Rollenabstand: Beschleunigte Bewegung des Zwerchfells und der Rippen, Erschlaffung der Obliqui.

Achter Versuch. Kleines, graues Kaninchen, auf dem Rücken befestigt, sehr unruhig. Einige Zeit nachher 31 Athmungen in 30 Secunden. Brust und Oberbauchgegend blosgelegt, rechts der Pectoralis entfernt. Zuerst wurden nur die unteren Rippen bewegt, nach Entfernung des Pectoralis werden alle Rippen von der zweiten ab bei der Inspiration gehoben, der Schwertfortsatz nach Innen gezogen. Bei der Exspiration Zusammenziehung des Obliquus externus, welcher an seiner aponeurotischen Ausbreitung abgelöst ist. Scaleni sind unthätig.

Zur Reizung dient der Magnetelectromotor mit einem Daniell'schen Element und Helmholtz'scher Einrichtung.

Beide Vagi werden blosgelegt. 27 Athmungen in 30 Secunden. Beide Vagi werden durchschnitten. Eine halbe

Minute später 10 Athmungen in 30 Secunden. Sämmtliche Rippen mit Ausnahme der ersten werden bei der Inspiration stark gehoben, ebenso das Sternum, das Zwerchfell contrahirt sich sehr stark; bei der Exspiration starke Zusammenziehung des Obliquus externus. Die Scaleni bleiben ruhig.

Reizung des rechten Vagus bei einem Rollenabstand von 120mm: Das Zwerchfell contrahirt sich sehr stark und die Rippen werden stark gehoben, nachdem die Athmung in diesem Zustande ganz kurze Zeit stillgestanden, beginnt sie, bei noch fortdauernder Reizung wieder in beschleunigtem Tempo, wobei die Rippen gehoben werden und die Scaleni (welche an ihrer Insertion abgelöst sind) sich ebenfalls rhythmisch contrahiren.

Die rhythmische Contraction der Scaleni dauert auch nach dem Aufhören der Reizung an. Nach längerer Zeit abermalige Reizung bei 120mm Rollenabstand: Starke Zusammenziehung des Zwerhfells, starke Hebung der Rippen und starke Contraction des Scalenus. Der letztere erschlafft sehr bald, dann auch die übrigen, und es folgt beschleunigte Bewegung mit undeutlicher Betheiligung des Scalenus.

Bei stärkerer Reizung dauert der Stillstand länger. Auch hier erschlafft der Scalenus immer zuerst.

Neunter Versuch. Mittelgrosses Kaninchen, auf dem Rücken befestigt, 14 Athmungen in 15 Secunden.

Zur Reizung dient der Magnetelectromotor mit Helmholtz'scher Einrichtung und einem Daniell'schen Element.

Brust und Oberbauchgegend werden blosgelegt, linkerseits der Pectoralis entfernt. Bei jeder Inspiration sieht man eine äusserst schwache Hebung der oberen Rippen, bei der Exspiration schwache Zusammenziehung des Obliquus externus. Scaleni ruhig.

Beide Vagi werden durchschnitten: 10 Athmungen in 15 Secunden. Stärkere Hebung der Rippen bei der Inspiration,

ohne Zusammenziehung der Scaleni; starke Contractionen des Obliquus externus bei der Exspiration.

Reizung des linken Vagus bei 120mm Rollenabstand: Eine einzige starke Inspiration, dann äusserst schnelle, aber sehr schwache Respirationen, bei denen eine Bewegung der Rippen kaum wahrnehmbar ist. Der Obliquus externus scheint sich dabei gar nicht zu contrahiren.[1])

Reizung bei 100mm Rollenabstand; Stillstand der Athmung mit Contraction des Zwerchfells und mässiger Hebung der Rippen ohne Betheiligung des Scalenus; Obliquus ist erschlafft.

Diese Beispiele werden genügen, um die oben ausgesprochenen Behauptungen zu erläutern. Es kann dabei natürlich nicht davon die Rede sein, für jeden einzelnen der vielen möglichen Fälle einen Versuch als Belag zu liefern, sondern nur an einzelnen Beispielen zu erläutern, wie sich die Versuche ausnehmen. Dass die oben gegebene Darstellung natürlich nur das Resultat von Combinationen ist, die aus einer grossen Zahl von Versuchen sich ergaben, brauche ich wol nicht noch besonders hervorzuheben.

Nachdem ich so gezeigt habe, wie sich die einzelnen Athemmuskeln bei Reizung des centralen Vagusstumpfes verhalten, habe ich nur noch wenige Worte über den Druck in den Luftwegen und den Blutdruck hinzuzufügen.

Der Druck in den Luftwegen.

Steht der Binnenraum der Lungen in freier Verbindung mit der Atmosphäre, so wird bei jeder Inspiration der Seitendruck in der Trachea oder einer in dieselbe eingesetzten

---

[1]) Eine sichere Entscheidung war nicht möglich, jedenfalls könnten die Contractionen nur äusserst schwach gewesen sein.

Canüle kleiner, bei jeder Exspiration grösser sein, als der Atmosphärendruck. Ein seitlich in der Luftröhre eingesetztes Manometer zeigt daher, abgesehen von etwaigen Störungen durch Eigenschwankungen des Quecksilbers, die jedesmalige Athmungsphase getreulich an. Bleibt aber die Respiration in irgend einer Phase stehen, so wird sich der Druck, da ja die Atmosphäre in freiem Verkehr mit dem Lungenraum ist, in beiden ausgleichen, es wird kein Seitendruck in der Luftröhre mehr stattfinden, und das Quecksilber des Manometer bleibt in beiden Schenkeln gleich hoch stehen.

Anders, wenn das Manometer endständig in der Luftröhre befestigt ist, so dass der Lungenraum ein in sich abgeschlossener wird. Hier muss das Manometer auch während des Respirationsstillstandes eine bestimmte Stellung einnehmen, je nach dem im Lungenraum herrschenden Druck und gestattet daher einen Schluss auf die Art des Stillstandes.

Dieses letzteren Verfahrens zur Erkennung des Respirationsstillstandes hat sich unter allen Forschern allein Löwinson bedient [1]) und er kam dadurch zu dem Schluss, dass die Vagusreizung Stillstand in der Inspirationsphase bewirke, ein Resultat, welches durch die Betrachtung der Rippen, des Thorax im Allgemeinen und des Abdomen gestützt wurde.

Den erstgenannten Weg schlugen v. Helmolt und Budge ein. Der erstere kam dadurch nur zu dem Ergebniss, dass wirklich die Athmung sistirt werden könne; um die Form des Stillstandes zu erkennen griff er zur Untersuchung des Blutdrucks, worauf ich bald zurückkomme. Der zweite setzt mit dem einen Nasenloch eine Glasröhre in Verbindung, welche in Wasser taucht [2]). Er setzt auseinander, wie man an dem Spiel des Wassers in der Röhre wol unterscheiden könne, ob dem Stillstand ein Steigen oder ein Fallen vorangehe, ob also die

[1]) Siehe oben p. 31.

[2]) Virch. Arch. XVI. 440.

letzte Athembewegung eine Inspiration oder eine Exspiration gewesen sei, und er nennt diese Art der Beobachtung „sehr zweckmässig". Ich habe aber vergebens in der ganzen Arbeit nach einer Angabe gesucht, was er eigentlich auf diese Weise beobachtet hat, wenn er die Vagi reizte. Wahrscheinlich doch wol eine Exspiration, da er ja schliesslich zu dem Resultat kommt, dass die Function des Vagus die sei, die Exspiration anzuregen.

Nach unserer jetzigen Kenntniss aller der Fälle, welche bei Vagusreizung vorkommen, wird man auf diese Beobachtungsweise nur wenig Gewicht legen. Es ist nämlich klar, dass wenn z. B. der Thorax sich gar nicht bei der Athmung betheiligt, und das Zwerchfell bleibt während der Vagusreizung in dauernder Zusammenziehung stehen, dennoch alles Mögliche an der Röhre sichtbar werden kann. Nehmen wir Beispiels halber den Fall, welcher Fig. 6, Taf. II dargestellt ist. Beim Beginn der Reizung ist das Zwerchfell gerade im Begriff zu erschlaffen — das Wasser in der Röhre fällt; das Zwerchfell wird in seiner Erschlaffung aufgehalten, es contrahirt sich stärker als irgend vor der Reizung — das Wasser in der Röhre steigt; das Zwerchfell erschlafft wieder theilweise, — das Wasser in der Röhre sinkt. Jetzt behält das Zwerchfell einen festen Stand und das Wasser in der Röhre nimmt seine Ruhestellung ein. Die Beobachtung der Glasröhre sagt also, dass die letzte Bewegung des Zwerchfells eine „Exspirationsbewegung" gewesen sei, und folglich muss nach Budge der darauf folgende Respirationsstillstand ein exspiratorischer sein. Aber die Curve zeigt uns statt dessen, dass das Zwerchfell während der ganzen Zeit dauernd contrahirt ist.

Noch verwickelter wird der Fall, wenn die Bewegungen des Thorax mit ins Spiel kommen, wenn z. B. nach vorheriger Durchschneidung beider Vagi bei einer bestimmten Reizstärke, der Thorax in Ruhe versetzt wird, während das Zwerchfell gleichzeitig in einen schwachen Tetanus geräth. Wer will da

sagen, welcher Art die letzte Bewegung im Manometer sein wird? und welches Interesse hat es, das zu wissen? Nur eine gänzliche Verkennung der vielen hier mitwirkenden Factoren und die schematisirende Auffassung der In- und Exspiration als fertig gegebener Mechanismen kann zu der Ansicht führen, dass eine solche Beobachtung am Manometer einen Schluss auf das Verhalten des Athemapparates gestatte.

Anders ist es mit der von LÖWINSOHN angewandten Methode. Hier misst man doch wirklich den während des Stillstandes in den Luftwegen vorhandenen Druck. Der Nachtheil dieser Methode, dass sie die freie Luftzufuhr abschneidet, ist allerdings nicht zu verkennen, ist aber nicht so bedeutend, da ja während des Stillstandes doch kein Gaswechsel stattfinden könnte. Nach allem, was wir über das Verhalten der Athemmuskeln wissen, versteht es sich von selbst, dass der Druck in den Luftwegen während der Vagusreizung stets kleiner, als der Atmosphärendruck sein muss, wie es auch LÖWINSOHN gefunden hat.

Nichtsdestoweniger ist die erstere Beobachtungsmethode ganz brauchbar, wenn es sich darum handelt, die Wirkung der Vagusreizung vor einer grösseren Versammlung zu demonstriren. Nur muss man dann die Reizung so stark wählen, dass man eine energische Zusammenziehung der Inspirationsmuskeln erhält. Eine sehr elegante Form nimmt der Versuch an, wenn man ihn so abändert, dass die Inspirations- und die Exspirationsluft geschieden werden, wie es oben bei den Versuchen über die Athmungsgrösse geschah.

Lässt man von der auf Tafel III. dargestellten Anordnung das Spirometer fort, so wird der Versuch sehr geeignet für Vorlesungen, besonders wenn man ihn an einer Katze anstellt, wo die Athembewegungen so sehr viel energischer sind, als beim Kaninchen. Man kann auch noch zur leichteren Unterscheidung das Wasser in den beiden Ventilen verschieden färben. Man sieht dann bei jeder Inspiration Luftblasen in dem Glase J aufsteigen, während das Wasser in E bis zu einer gewissen Höhe

emporgehoben wird. Bei der Exspiration ist es umgekehrt. Reizt man nun den Vagus, so sieht man einen starken Luftstrom Blase für Blase durch J eindringen, während in E das Wasser gehoben wird, dann sinkt die Wassersäule in E wieder, aber keine Blase dringt heraus, und das Wasser in J wird nicht gehoben. Die Inspiration ist eine dauernde. Natürlich darf man die Reizung nicht zu lange anhalten lassen, weil sonst durch die Ermüdung der Inspirationsmuskeln der Lungenraum sich zu verkleinern anfängt und Luft durch das Ventil E austreibt.

Der Blutdruck.

Den Blutdruck bei Reizung des centralen Vagusendes hat nur v. Helmolt untersucht. Von der Ansicht ausgehend, dass jede Inspiration eine Erniedrigung, jede Exspiration eine Erhöhung des mittleren Druckes im Arteriensystem zur Folge habe, kam er zu den oben mitgetheilten Schlüssen.[1])

Diese Annahme ist in der allgemeinen Form, welche ihr v. Helmolt giebt, keineswegs richtig, was besonders aus den Untersuchungen Einbrodt's[2]) deutlich wird. Auf keinen Fall kann man so ohne Weiteres aus jeder Druckveränderung in den Arterien auf Veränderungen im Respirationsapparat zurückschliessen, da, wie Einbrodt gezeigt hat, auch während völliger Ruhe des Respirationsapparates der Blutdruck sich ändert. Für uns haben diese Verhältnisse nur in soweit ein Interesse, als uns daran liegen muss, zu untersuchen, wie weit die aus v. Helmolt's Resultaten zu ziehenden Schlüsse mit unseren Ergebnissen vereinbar sind oder nicht.

Wenn nun v. Helmolt aus dem einen Umstand, dass bei Anwendung mittelstarker Ströme ein Sinken des Blutdrucks ein-

---

[1]) Siehe oben p. 29.

[2]) Einbrodt: Ueber den Einfluss der Athembewegungen auf Herzschlag und Blutdruck. (Wien. acad. Ber.) Molesch. Unt. VII. 265.

tritt, den Schluss zieht, dass eine ungewöhnliche Zusammenziehung der Inspirationsmuskeln stattfinde, so ist dieser Schluss natürlich gegenüber den von EINBRODT beigebrachten Thatsachen nicht so unmittelbar anzuerkennen. Nach diesen sollte man im Gegentheil erwarten, dass der Druck bei einem Stillstand in Inspiration zuerst sinke und dann wieder steige. Aber die von v. HELMOLT mitgetheilten Blutdruckcurven zeigen gar keinen Stillstand der Athembewegungen, sondern nur eine Beschleunigung der Athmung. Bei einer solchen muss aber ein Sinken des mittleren Blutdruckes stattfinden, wie eine einfache Ueberlegung zeigt.

Läge das ganze Gefässsystem offen dem Druck der Atmosphäre ausgesetzt, so könnte der Druck im Arteriensystem nur abhängen von der Arbeit des Herzens, wenn wir von einer Contraction oder Erschlaffung der Gefässwände absehen. Nun ist aber ein Theil des Gefässsystems in einer Höhle eingeschlossen, in welcher der Druck ein wechselnder ist. Wird diese Höhle erweitert, so muss natürlich der Blutdruck ausserhalb derselben sinken, wird sie verengert, so muss er steigen. Wenn dem nicht einfach so ist, so liegt der Grund, wie EINBRODT gezeigt hat, eben darin, dass gleichzeitig die Arbeitsleistung des Herzens eine Aenderung erleidet. Wollte man den reinen Einfluss der Druckveränderungen im Thorax auf den Blutdruck studiren, dann müsste man zunächst den letzteren Factor ganz eliminiren, d. h. man müsste das Herz durch Vagusreizung ganz zur Ruhe bringen. Wollte man dann noch die Wirkung der centralen Vagusreizung rein studiren, so müsste man folgender Maassen verfahren: Nachdem beide Vagi durchschnitten sind, reizt man das peripherische Ende des einen Vagus, so dass das Herz ganz still steht. Wenn dann der Blutdruck auf der Kymographiontrommel horizontal verzeichnet wird, oder in einer wegen der Contraction der Arterien regelmässig abfallenden Spirallinie, müsste man das centrale Ende des anderen Vagus reizen.

Erfolgt dann eine Inspiration, so würde auch ein plötzlicher Knick der Blutdruckcurve nach unten sich zeigen müssen. Ich habe bisher noch keine Gelegenheit gehabt, den Versuch in dieser Form anzustellen, habe jedoch einen anderen gemacht, welcher im Ganzen genommen dasselbe leistet. Tödtet man nämlich ein Thier und wartet, bis die Athembewegungen sehr selten geworden sind, und das Herz nur noch sehr schwach schlägt, so dass die Blutdruckcurve fast horizontal verläuft, so sieht man deutlich, dass bei jeder Inspiration der Druck ein wenig sinkt, bei der Exspiration etwas über die vorherbestandene Höhe hinaussteigt, und dann wieder auf dieselbe zurücksinkt. In diesem Stadium kann man, wie wir oben gesehen haben, durch Reizung des centralen Vagusendes jedesmal eine starke Inspiration erzeugen, und dabei zeigen sich denn auch jedesmal die erwähnten Erscheinungen an der Blutdruckcurve. Ich glaube daher nicht anstehen zu dürfen, auszusprechen, dass der oben angegebene Versuch ebenfalls eine Abnahme des Blutdruckes während der Reizung des centralen Vagusendes ergeben würde.

Die Resultate v. Helmolt's ergeben also keineswegs eine vermehrte Action der Inspirationsmuskeln, sondern nur eine Beschleunigung der Athembewegungen. Dies kann uns nicht Wunder nehmen, da bei Hunden überhaupt, wie wir gesehen haben, so schwer Respirationsstillstand erhalten wird. Die von ihm angewandten Ströme waren nicht stark genug. Als er aber stärkere anwandte, bekam er „eine auffallende Erhöhung des mittleren Blutdrucks, die also einer extraordinären Zusammenziehung der Exspirationsmuskeln entspricht.“ Hierbei ist nun aber nicht zu verkennen, dass v. Helmolt gar keine Garantien giebt, ob nicht Stromschleifen durch den Laryngeus superior gingen. Ich brauche auf diesen Punct hier nicht weiter einzugehen, da das Nöthige darüber schon im dritten Capitel gesagt ist.

v. HELMOLT stellte auch Versuche bei Kaninchen an, wo er den Blutdruck in der Aorta abdominalis mass. Er fand, dass der Seitendruck während der Reizung sank, und dann wieder langsam stieg, was nach den EINBRODT'schen Versuchen ja ganz natürlich ist. Wir können also schliessen, dass v. HELMOLT in diesen Fällen wirklich einen dauernden Stillstand in der Inspirationsstellung vor sich hatte.

NEUNTES CAPITEL.

Die concomitirenden Athembewegungen bei Reizung des centralen Vagusstumpfes.

Als concomitirende Athembewegungen bezeichne ich hier alle diejenigen Bewegungen, welche zu den Druckveränderungen im Thorax unmittelbar Nichts beitragen können, indem sie den Brustraum weder verengern noch erweitern, welche aber doch als Begleiterscheinungen der Athmung auftreten, sei es stets, sei es nur bei verstärkter Athmung.

Diese Bewegungen sind für die Athmung zum Theil von grosser Bedeutung, indem ihre Veränderungen auf die eigentlichen Athembewegungen verändernd zurückwirken können, wie wir dies schon von den Stimmbändern zu sehen Gelegenheit hatten. Im Ganzen aber haben sie natürlich kein so grosses Interesse für uns, und es wird daher gestattet sein, sich bei der Besprechung derselben ganz kurz zu fassen. Wir betrachten hier die Bewegungen des Kehlkopfs, der Stimmbänder und der Nasenflügel.

Der Kehlkopf.

„Der Kehlkopf wird während der Inspiration abwärts, während der Exspiration nach oben gezogen. Auch hier findet

man wieder dieselbe Erscheinung, wie an der Nase. Man muss besonders vorsichtig in der Isolation des Nervus vagus sein, um nicht zu Irrungen veranlasst zu werden, wenn man diese Beobachtung anstellt."

Diese wenigen Worte BUDGE's [1]) sind Alles, was die Literatur über die Bewegungen des Kehlkopfes bei Vagusreizung bietet. Da BUDGE an der Nase die Exspirationsstellung gesehen hat, so müssen wir schliessen, dass der Kehlkopf bei seinen Versuchen nach oben gezogen worden sei. Sehr auffallend ist die angehängte Mahnung zur Vorsicht. Man sollte meinen, dass sorgfältige Isolation bei allen vivisectorischen Versuchen nicht blos rathsam, sondern unbedingt nothwendig sei, und sieht keinen Grund, warum gerade der Kehlkopf so besonders empfindlich sein sollte. Fast könnte es scheinen, als ob die Erscheinungen nicht so ganz constant gewesen seien, dass daher die Angabe des Ergebnisses absichtlich etwas dunkel gehalten sei. Doch ist dieser Verdacht wol ungerechtfertigt, da wir ähnlicher Unbestimmtheit des Ausdruckes noch öfter in der BUDGE'schen Arbeit begegnen.

Die Bewegungen des Kehlkopfes fehlen bei der normalen Athmung des Kaninchen öfter, bei der verstärkten sind sie stets vorhanden. Dass dieselben schon bei geringeren Graden der Dyspnoe auftreten, ist schon oben bemerkt worden. Bei Hunden und Katzen fehlen sie niemals. Diese Bewegungen sind bedingt durch Zusammenziehung der Mm. sternohyoidei und sternothyreoidei bei der Inspiration und der Mm. hyothyreoidei und cricothyreoidei bei der Exspiration. Man kann dies besonders bei Hunden und Katzen gut beobachten, wo die Bewegung energischer und die Theile grösser sind, als bei Kaninchen.

Reizt man einen Vagus, während der andere noch unverletzt ist, so sieht man an Kaninchen entweder keinen Einfluss,

[1]) VIRCH. Arch. XVI. 453.

wenn der Kehlkopf vorher ruhig war, oder es treten auch einige ruckweise Abwärtsbewegungen des Kehlkopfes auf, welche ausbleiben, wenn man vorher den Sternohyoideus und Sternothyreoideus durchschnitten hat. In diesem Falle sieht man die letzteren sich in ihrer oberen Hälfte zusammenziehen. Waren aber schon vorher lebhafte Bewegungen des Kehlkopfes vorhanden, so wird derselbe bei der Reizung, wenn zugleich das Zwerchfell sich dauernd zusammenzieht, nach abwärts bewegt, und bleibt dort während der ganzen Reizung stehen. Dieses letztere ist auch stets bei Katzen der Fall und bei diesen sehr leicht zu beobachten. Bei den Hunden dagegen, wo der Stillstand der Athmung so schwer zu erzielen ist, kommt es auch nur schwer zu einem Stillstand des Kehlkopfes. Meist sieht man hier zugleich mit der oben beschriebenen keuchenden Respiration auch heftige Bewegungen des Kehlkopfes eintreten, wobei derselbe schnell und kräftig nach Unten gezogen wird und dann wieder, indem die Zusammenziehung der betreffenden Muskeln nachlässt, nach Oben zurückweicht. Dabei wirken aber die Heber des Kehlkopfes gar nicht mit, denn die Bewegungen bleiben ganz dieselben, wenn man die Mm. hyothyreoidei durchschneidet, und den Kehlkopf ganz vom Zungenbein ablöst.

Bei dieser Abwärtsbewegung des Kehlkopfes sieht man bei Hunden und Kaninchen eine Annäherung des unteren Randes des Schildknorpels an den Ringknorpel, welche man geneigt sein könnte auf eine Zusammenziehung des M. cricothyroideus zu schieben. Doch ist dem nicht so, denn wenn man diesen Muskel ganz durchschneidet, so findet jene Annäherung dennoch statt. In der That ist sie nur bewirkt durch eine Drehung des Schildknorpels, während der Ringknorpel stehen bleibt. Es ist leicht einzusehen, wie diese Drehung zu Stande kommt. Der Ansatz der Mm. sternothyreoidei liegt vor der Axe, um welche sich der Schildknorpel dreht; ziehen sich also diese Muskeln zusammen, so geht nicht blos der ganze Kehlkopf abwärts,

sondern der vordere Theil des Schildknorpels muss auch dem Ringknorpel sich nähern. Bei Katzen fehlt diese Annäherung, weil ein Theil der Fasern jenes Muskels sich am Ringknorpel selbst ansetzt. Dieser wird daher selbst stark abwärts gezogen, und zwar mit seinem vorderen Theil am stärksten, aus demselben Grunde, wie der bei dem Schildknorpel angegebene. Die beiden Knorpel entfernen sich daher bei der Abwärtsbewegung des Kehlkopfes von einander, und der Ringknorpel dreht sich dabei mit seiner oberen Seite nach Vorn, wie man sehr schön bei Vagusreizung sehen kann. Bei der Zusammenziehung des Cricothyreoideus macht der Ringknorpel gerade die entgegengesetzte Drehung.

Die Stimmbänder.

Die Bewegungen der Stimmbänder bei der Athmung sind vielfach Gegenstand der Untersuchung gewesen, ihr Verhalten bei Reizung des centralen Vagusstumpfes erwähnen aber nur Budge, Gilchrist und Schiff.

Alle drei haben Verengerung der Stimmritze gesehen. Von der Beobachtung Gilchrist's ist schon im geschichtlichen Theil angedeutet worden, dass sie zweideutig sei, da er angiebt, stets beide Vagi durchschnitten zu haben. Eine Verschliessung der Stimmritze durch alleinige Wirkung der Mm. cricothyreoidei (die Laryngei superiores waren unverletzt) ist aber sehr unwahrscheinlich. Denn diese Muskeln können nur durch Spannung der Stimmbänder die Stimmritze schliessen, wenn die Stimmbänder schon durch die Mm. cricoarytaenoidei laterales und arytaenoidei proprii einander genähert sind. Die lancetteförmige Glottis vocalis wird dann in einen linearen Spalt verwandelt.

Die Angabe Schiff's ist unbestimmt gehalten. Er sagt [1]): „War nur ein Vagus durchschnitten, so schien es mir, dass im

[1]) Lehrbuch I. 413.

Gegensatz zu den anderen Athmungsmuskeln, diejenigen der Glottis der anderen Seite bei starker Erregung des centralen Schnittendes unmittelbar in einen exspiratorischen Zustand übergingen. Dies bedarf noch weiterer Untersuchung, da der von mir nicht durchmittene ramus externus laryngei superioris möglicher Weise allein vom musc. cricothyreoideus aus die von mir beobachteten Erscheinungen hatte bewirken können." Nicht klar ist, ob diese Erscheinung nur bei starken Strömen eintrat, und ob sie sich auch zeigte, wenn beide Vagi durchschnitten waren, was doch hätte sein müssen, wenn sie nur vom Cricothyreoideus abhinge. BUDGE's Aeusserung über diesen Punct [1]) ist zwar entschiedener gehalten, doch mit so vielen Dunkelheiten behaftet, dass sie mir wieder nicht ganz klar geworden ist. Er sagt z. B.: „Nach Durchschneidung des einen N. recurrens bleibt die Stimmritze im Zustande wie nach dem Tode, was man noch deutlicher beobachtet, wenn man beide Recurrentes durchgeschnitten hat. Sie sind dann nämlich nicht so weit geöffnet, wie sie im normalen Zustande während des Einathmens und nicht so weit geschlossen, wie sie während des Ausathmens sind. Im normalen Athmen erweitern und verengern sich diese Bänder wie Ventile unaufhörlich." Was in aller Welt mag wol bewirken, dass beide Stimmbänder sich, wie BUDGE sagt, nicht mehr „erweitern und verengern," wenn nur ein Recurrens durchschnitten ist? Doch diese wunderbare Erscheinung hindert nicht, dass bei Reizung des einen centralen Vagusstumpfes der Recurrens der anderen Seite noch seine Schuldigkeit thue. Die Verengerung der Stimmritze ist dann nach BUDGE „constant in die Augen fallend."

Ich für meine Person habe nun freilich dieses „in die Augen fallende" Phänomen ebensowenig gesehen, wie jenes wunderbare Verbleiben der Stimmritze im „Zustande wie nach dem Tode." Im Gegentheil das Stimmband der Seite, wo der Vagus

[1]) VIRCH. Arch. XVI. 453.

unversehrt war, fuhr nicht nur in seinen normalen Bewegungen nach wie vor fort, d. h. ging bei der Inspiration nach Aussen, bei der Exspiration nach Innen, sondern es blieb auch, wenn der Vagus der anderen Seite gereizt wurde, aussen stehen, wenn gleichzeitig das Zwerchfell sich dauernd contrahirte, was, wie man weiss, constant eintritt, wenn der Versuch richtig angestellt, und die Stromstärke passend gewählt wird.

Die Beobachtung der Stimmritze kann entweder von Oben oder von Unten her geschehen. Jede dieser Beobachtungsweisen hat ihre Vorzüge und Nachtheile. Bei der Beobachtung von Oben her muss man die Membr. hyothyroidea durchschneiden, was meist nicht ohne beträchtliche Blutung abgeht, und den Kehlkopf an der Epiglottis etwas hervorziehen, aber man sieht dann auch sehr schön nicht nur die Bewegungen der Stimmbänder, sondern auch die der Giessbeckenknorpel, was besonders bei Katzen ausserordentlich zierlich ist. Bei der Beobachtung von Unten her, wozu man ein Stück aus der vorderen Luftröhrenwand ausschneidet, ist das Gesichtsfeld etwas beengt, aber der Kehlkopf bleibt in seiner normalen Lage, und wenn man ihn mit einer Pincette festhält, lassen sich die Beobachtungen ganz gut machen. Auf die eine oder andere Weise sieht man, wie die Stimmbänder bei der Inspiration nach Aussen, bei der Exspiration nach Innen gehen. Reizt man einen Recurrens, so bleibt das Stimmband dieser Seite innen stehen, reizt man beide, so wird die Stimmritze ganz geschlossen, wobei die Giessbeckenknorpel sich fest aneinander legen und selbst über einander schieben, wie man dies auch am Menschen mittelst des Kehlkopfspiegels sehen kann, wenn ein Ton erzeugt wird. Dieser Verschluss rührt nicht etwa davon her, dass die Verengerer der Stimmritze allein vom Recurrens versorgt würden. Dieser Nerv vertheilt sich vielmehr gleichmässig an Verengerer und Erweiterer, wie schon Longet richtig angiebt.[1]) Der Verschluss ist

[1]) Longet's Anatomie und Physiologie des Nervensystems II. 246.

nur die Folge des Uebergewichtes der Verengerer (Mm. arytaenoidei und cricoarytaenoidei laterales) über die Erweiterer (Mm. cricoarytaenoidei postici), gerade wie bei Reizung des Plexus ischiadicus Streckung eintritt, obgleich doch auch die Beuger erregt werden.

Dass der Laryngeus superior von allen Muskeln des Kehlkopfes nur den Cricothyreoideus versorgt, hat schon LONGET richtig angegeben. Dieser Nerv hat daher direct mit den Athembewegungen der Stimmbänder nichts zu thun, und wenn sich der Cricothyreoideus bei der Ausathmung zusammenzieht, wie wir oben gesehen haben, so kann dies doch nur den Erfolg haben, die Stimmbänder zu spannen und so den vorderen Theil der Stimmritze (die Glottis vocalis) vollständiger zu schliessen, während der hintere Theil (die Glottis respiratoria) vermöge seiner Anheftung an die Giessbeckenknorpel dabei offen bleibt. Ein Verschluss dieses Theiles, welcher nur durch die Wirkung der Mm. arytaenoidei zu Stande kommen kann, tritt bei der normalen Athmung niemals ein.

Die Bewegungen der Stimmbänder bei der Athmung sind nicht immer gleich gut wahrzunehmen. Zuweilen sind die Bewegungen sehr gering, besonders bei Kaninchen; zuweilen äusserst kräftig, so bei Katzen bei etwas verstärkter Athmung. Bei jeder Inspiration ziehen sich die Arytaenoidei postici zusammen, so dass die Stimmbänder zuweilen ganz parallel der Luftröhrenaxe zu stehen kommen, bei der Exspiration contrahiren sich die Cricoarytaenoidei laterales, die Processus vocales der Giessbeckenknorpel berühren sich fast oder selbst ganz und die Glottis vocalis bildet einen ovalen Spalt, welcher durch die gleichzeitige Contraction der Cricothyreoidei und die dadurch bewirkte Spannung der Stimmbänder noch mehr verengert wird. Durchschneidet man beide Recurrentes oder Vagi, so nimmt die Stimmritze eine mittlere Weite an und wird begrenzt durch zwei schlangenförmig gekrümmte Linien, welche vorn am Schildknorpel zusammenstossen und deren nach Innen vorspringende, ein-

ander zugekehrte Convexitäten den Processus vocales der Giessbeckenknorpel entsprechen. Der Grad der Verengerung im Vergleich zur Inspirationsweite ist sehr verschieden. Bei Katzen hat dann die Stimmritze fast dieselbe Weite wie bei der Inspiration, während sie bei Kaninchen fast so eng ist als bei der Exspiration. Obgleich die Mm. cricothyreoidei sich bei der Exspiration noch immer contrahiren, wenn die Laryngei superiores erhalten sind, so können sie doch bei dieser Stellung der Stimmbänder keine wesentliche Wirkung auf eine Verengerung der Stimmritze ausüben. Ist nur ein Recurrens durchschnitten, so fährt natürlich das Stimmband der anderen Seite in seinen Bewegungen fort, und die Glottis vocalis nimmt dann bei der Exspiration die Form eines halben Ovals an, gebildet einerseits von dem fast gerade verlaufenden Stimmband der unversehrten und dem nach innen ovalen Stimmband der anderen Seite.[1])

Die Stimmbänder sind natürlich bei der Durchschneidung beider Vagi schräg gegen den Luftstrom gestellt, und es ist daher die Möglichkeit gegeben, dass sie bei der Inspiration wie schlaffe Ventile zuklappen. Dies hat auch LONGET[2]) wirklich gesehen, besonders bei jungen Thieren, wo die Stellung der Stimmbänder für den Eintritt dieser Erscheinung am günstigsten ist, und wo bekanntlich sogar Erstickung die Folge sein kann An Katzen hat BERNARD[3]) das Phänomen gesehen. TRAUBE[4]) hat gezeigt, dass es nicht immer eintritt, sondern dass dazu noch eine gewisse Stärke und Geschwindigkeit der Inspiration gehört. Eine solche starke und schnell erfolgende Inspiration kann man nun, wie wir gesehen haben, bei Reizung des Vagus unter pas-

[1]) Dies bezieht sich natürlich auf erwachsene Thiere; bei jungen, wo die Glottis respiratoria verhältnissmässig klein, und die Stimmbänder sehr schlaff sind, wird die Stimmritze sehr eng nach Durchschneidung der Recurrentes.

[2]) Anatomie und Physiologie des Nervensystems II. 239f.

[3]) Arch. gén. (4) V. 69. Système nerveux II. 311.

[4]) Beiträge I. 103ff.

senden Umständen erhalten. Daraus würde sich erklären, warum GILCHRIST, welcher ja beide Vagi durchschnitten hatte, Schliessung der Stimmritze gesehen hat. Doch ist es jedenfalls nur ein Irrthum, wenn er unter diesen Umständen von einem „krampfhaften" Schluss spricht. Das ganze Phänomen, welches auch ich zuweilen gesehen habe, fehlt natürlich bei Anlegung einer Trachealfistel, kommt daher niemals bei der Beobachtung der Stimmbänder von Unten her vor.

Ist aber nur ein Vagus durchschnitten, so sieht man stets, wenn dessen centrales Ende gereizt wird, eine Auswärtsbewegung des anderen Stimmbandes und ein Stehenbleiben desselben in dieser Aussenstellung, wie sie auch sonst bei der Inspiration eintritt. Dieser Erfolg bleibt natürlich aus, wenn die Reizung zu schwach ist, so dass sie nur zu beschleunigter Athmung führt. Man sieht dann sehr schnelle, aber kleine Bewegungen des Stimmbandes, wobei es sich aber nur wenig von der Mittellinie entfernt. Es ist dies ganz analog den schnellen und kleinen Bewegungen welche das Zwerchfell unter denselben Umständen macht, und wir sehen hier wieder dasselbe Princip walten, welches wir bei allen übrigen Respirationsmuskeln fanden, dass nämlich ihre Zusammenziehungen bei der Vagusreizung um so mehr an Energie verlieren, als sie an Häufigkeit zunehmen. Dieser Erfolg tritt aber nur dann ein, wenn man den Vagus wirklich isolirt reizt, denn wenn Stromschleifen durch den Laryngeus superior gehen, ist das Verhalten der Stimmritze ein ganz anderes, wie wir noch sehen werden.

Statt aller weitläufigen Auseinandersetzungen will ich hier lieber einen Versuch einschalten, welcher die einschlägigen Verhältnisse ganz gut zeigt.

Versuch. Sehr grosser Kater, auf dem Rücken befestigt, mit Chloroform narcotisirt.

Zur Reizung dient der Magnetelectromotor mit einem Daniell und gewöhnlicher Anordnung.

Kehlkopf und Luftröhre werden blosgelegt, ein Stück aus der vorderen Wand der letzteren ausgeschnitten. Man sieht durch die Oeffnung sehr schön die Stimmritze welche sich bei der Inspiration öffnet, bei der Exspiration schliesst. Zugleich steigt der Kehlkopf bei jeder Exspiration aufwärts, der Ringknorpel nähert sich dabei dem Schildknorpel; bei jeder Inspiration steigt der Kehlkopf abwärts, und das Ligamentum cricoarytaenoideum spannt sich an.

Auf der rechten Seite wird der Vagus präparirt und durchschnitten. Das rechte Stimmband ist jetzt unbeweglich in einer mittleren Stellung, das linke setzt seine Bewegungen fort, so dass bei der Exspiration sich die Processus vocales beider Giessbeckenknorpel fast berühren und die Glottis vocalis einen schmalen halbovalen Spalt mit der stärkeren Krümmung auf der rechten Seite darstellt.

Reizung des rechten centralen Vagusstumpfes bei 120mm Rollenabstand: Das linke Stimmband geht nach Aussen und bleibt dort stehen, das rechte unbewegt. Der Kehlkopf wird nach Unten gezogen der Cricothyreoideus ist nicht contrahirt. Nach der Reizung sehr beschleunigte Athmung, wobei das linke Stimmband kaum bewegt wird, und die Stimmritze ganz eng bleibt.

Der linke Vagus wird durchschnitten, beide Stimmbänder bleiben ruhig, und die Stimmritze ist ziemlich weit, nur wenig enger, als anfänglich bei der Inspiration; die Form derselben ist jedoch gegen die Inspirationsstellung geändert, indem die Processus vocales der Giessbeckenknorpel vorspringen und die Stimmritze in einen vorderen und hinteren Abschnitt zerlegen.

Reizung des rechten centralen Vagusstumpfes hat gar keinen Einfluss auf die Stimmritze.

Reizung des linken peripherischen Vagusstumpfes führt das linke Stimmband nach der Mittellinie.

Ich will hier noch gelegentlich einen Punct berühren, welcher eigentlich ausserhalb der uns gestellten Aufgabe liegt, nämlich die Frage nach dem Schluss der Stimmritze beim Schlingen, wenn beide Vagi (oder Laryngei inferiores) durchschnitten sind. Es ist über diesen Punct viel gestritten worden, dass aber die Thatsache richtig ist, davon kann man sich leicht überzeugen, wenn man bei blosgelegter Stimmritze den Schlund mit einer Pincette oder einem Scalpellstiel kitzelt. Bei jeder so eintretenden Schlingbewegung steigt der Kehlkopf in die Höhe und zugleich sieht man die ganz gelähmten und unbeweglichen Stimmbänder sich aneinander legen. Dass dies nicht durch die Constrictores Faucium bewirkt wird, wie LONGET angiebt, hat schon TRAUBE gezeigt, da er es auch sah, wenn der Kehlkopf ganz vom Schlunde abgelöst ist. Ich kann dies nur bestätigen. Auch ist der Cricothyreoideus unschuldig daran, da man beide Laryngei superiores durchschneiden kann, ohne dass der Schluss aufhört. Dagegen lässt sich leicht nachweisen, dass er nothwendig an die Ortsveränderung des Kehlkopfes gebunden ist, denn verhindert man die Aufwärtsbewegung beim Schlingen, indem man die Hyothyreoidei durchschneidet, oder den Kehlkopf gut fixirt, so wird die Stimmritze beim Schlingen nicht mehr geschlossen. Die Erklärung ergiebt sich leicht, wenn man bedenkt, dass jene Muskeln sich an den Schildknorpel *vor* seiner Drehungsaxe um den Ringknorpel ansetzen. Bei jeder Hebung des Kehlkopfes wird also zugleich eine Annäherung des vorderen Theiles des Schildknorpels an die Giessbeckenknorpel stattfinden, und dadurch ein Aneinanderlegen der schlaffen Stimmbänder. Es ist daraus erklärlich, warum das Phänomen nicht immer eintritt, wie TRAUBE richtig angiebt. Es wird dies davon abhängen, ob unter den jedesmaligen Versuchsbedingungen noch eine genügende Hebung des Kehlkopfes möglich ist. Auch ist klar, dass dieser Schluss der Stimmritze kein sicherer sein kann, also auch nicht das Eindringen von Speiseresten und Mundflüssigkeit hindert, besonders bei tiefen Inspirationen.

Die Nasenlöcher.

Dass die Nasenlöcher der Kaninchen bei der Inspiration sich erweitern, bei der Exspiration sich verengern, ist bekannt. Bei Hunden und Katzen sind die Bewegungen viel geringer und zuweilen kaum merkbar. Aber auch bei Kaninchen sind sie bei normalem Athmen nur schwach und wegen ihrer Schnelligkeit schwer scharf zu beobachten. Nach Durchschneidung beider Vagi, wenn die Bewegungen langsamer und stärker geworden sind, kann man sich überzeugen, dass die Erweiterung der Nasenlöcher der Zwerchfellscontraction vorhergehen, und dies ist auch bei der normalen Athmung schon der Fall, wenngleich der Zeitunterschied dann natürlich sehr viel kleiner ausfallen muss. Es ist daher nur bedingt richtig, wenn Budge sagt, die Nasenlöcher seien der getreueste Spiegel der Zwerchfellsbewegungen, und wenn durch Vagusreizung oder sonst wie Aenderungen im Respirationsmechanismus entstehen, so hört die Uebereinstimmung beider erst recht auf.

Snellen und Budge sahen beide Verengerung der Nasenflügel bei Vagusreizung, der erstere neben deutlicher Zusammenziehung des Zwerchfells. Budge sah überdies der Verengerung zuweilen eine Erweiterung vorangehen. Stets jedoch soll die Verengerung stärker, die Erweiterung geringer sein, als vor der Reizung. [1])

Ich muss gestehen, dass es mir in vielen Fällen äusserst schwer wurde, zu sagen, welcher Art der Stillstand der Nasenflügel sei; und so wie mir ging es auch anderen Personen, welche ich um ihre Ansicht fragte. Ich möchte daher Keinem rathen, nach den Erscheinungen der Nasenlöcher allein sich ein Urtheil über die Wirkung des Vagus auf die Athembewegungen zu bilden. Meist war es mir erst bei Anwendung einer Loupe möglich, ein Urtheil zu gewinnen. Dazu kommt noch, dass ein

[1]) Virch. Arch. XVI. 443.

absoluter Stillstand der Nasenflügel viel seltener eintritt, als beim Zwerchfell, denn man sieht häufig bei Kaninchen die letzteren sich noch fortbewegen, wenn das Zwerchfell dauernd zusammengezogen ist.

Um einen deutlichen Stillstand der Nasenlöcher in erweitertem Zustand zu sehen, muss man sich ganz schwacher Ströme bedienen, welche eben ausreichen, dauernden Stillstand des Zwerchfells zu bewirken. Dann sieht man diesen Erfolg aber stets eintreten, sowohl bei Kaninchen als bei Katzen. Sind die Ströme schwächer, so werden die Bewegungen nur beschleunigt und zugleich weniger ausgiebig, so dass weder die Erweiterung noch die Verengerung so gross ausfallen, als vor der Reizung. Sind aber die Ströme stärker, so sieht man wieder Stillstand und zwar in einer Stellung, welche der Exspirationsstellung viel näher ist, als der Inspirationsstellung. Dabei kann das Zwerchfell immer noch gleichzeitig contrahirt sein, so dass also nicht etwa Stromschleifen durch den Laryngeus superior eine Exspiration bewirken. Ich gebe die Thatsachen so nackt, wie ich sie beobachtet habe und muss es dabei unentschieden lassen, ob nicht vielleicht doch gewisse Fasern, sei es im Laryngeus superior, sei es im Vagusstamm selbst vorhanden sind, welche zu den Nasenflügelmuskeln in einer besonderen Beziehung stehen. Jedenfalls steht soviel fest, dass man aus den vorhandenen Thatsachen nicht schliessen darf, dass der Vagus eine Exspiration auslöse. Dem widersprechen nicht nur die Beobachtungen an allen übrigen Athemmuskeln, sondern auch die Erscheinungen an der Nase selbst.

ZEHNTES CAPITEL.

Verhalten der Athembewegungen bei Reizung des Laryngeus superior.

Im fünften Capitel haben wir eine eigenthümliche Einwirkung des Laryngeus superior auf das Zwerchfell kennen gelernt, welche geeignet schien, einen Theil der Widersprüche zu erklären, die zwischen den verschiedenen Forschern über die Wirkung des Vagus obwalten. Da jene Einwirkung aber auch an sich unser Interesse in Anspruch zu nehmen geeignet ist, und zur Erkenntniss des Mechanismus der Athembewegungen etwas beitragen zu können scheint, so dürfte es angemessen erscheinen, jetzt noch einen Blick zu werfen auf das Verhalten der übrigen respiratorischen Muskeln bei Reizung dieses Nerven.

Schon bei Gelegenheit der Zwerchfellsbeobachtungen hat sich herausgestellt, dass die Reizung des Laryngeus superior nicht immer den Respirationsapparat in eine vollkommene Ruhe versetzt; denn wir sahen häufig, dass bei völliger Erschlaffung des Zwerchfells der Thorax noch Bewegungen machte, welche sich dem Zwerchfell mittheilten und dieses passiv in Bewegung setzten. Diese Erscheinung zeigte sich am häufigsten bei Hunden und Katzen, während sie bei Kaninchen seltener war und meist erst auftrat, wenn die Erschlaffung des Zwerchfells schon einige Zeit bestand.

Es liegt nahe, diese Verschiedenheit so aufzufassen, dass der bei der normalen Respiration unbewegte Thorax des Kaninchen auch bei Laryngeusreizung unbewegt bleibe, und dass die Bewegungen des Thorax bei Katzen und Hunden fortdauern, dass also der Laryngeus superior eigentlich gar keine Einwirkung auf den Thorax habe. Denn die nicht unmittelbar mit der Reizung beginnenden späteren Erfolge ist man durchaus nicht berechtigt, auf die Wirkung des Laryngeus zu schieben, da sie sich ganz gut allein durch die Folgewirkungen des Zwerchfellsstillstandes, nämlich die Dyspnoe, erklären lassen.

Diese Anschauung ist aber im Widerspruch mit den gangbaren Annahmen, wonach der Laryngeus superior echte active Exspirationsbewegungen auf reflectorischem Wege auslösen soll, welche man unter dem gemeinsamen Namen „Husten" zusammenfasst. Wie man sich erinnern wird, waren es gerade die Erscheinungen des Hustens, welche meine Aufmerksamkeit auf den Laryngeus superior lenkten, und mich veranlassten, sein Verhältniss zum Zwerchfell zu studiren. Umsomehr wird es nöthig sein, durch eigends auf diesen Punct gerichtete Versuche das Verhalten der übrigen Respirationsmuskeln zu erforschen, um so den Mechanismus des Hustens genauer festzustellen.

Beobachtet man den Thorax eines Kaninchen, welches ganz normale Athmung zeigt, also den Thorax gar nicht bewegt, genauer, so sieht man auch während der Reizung des Laryngeus meist gar keine Bewegungen eintreten. Dauert die Reizung einige Zeit, so kommt endlich ein Punct, wo der Stillstand durchbrochen wird, es geschieht eine krampfhafte Contraction des Zwerchfells und gleichzeitig mit dieser eine tiefe inspiratorische Bewegung sämmtlicher Rippen, worauf dann die Athmung sehr verstärkt fortgeht, um allmählich zur Norm zurückzukehren, d. h. der Thorax wird wieder ruhig. Dauert aber der Stillstand des Zwerchfells längere Zeit, so beginnen bald kleine inspiratorische Bewegungen des Brustkorbs, d. h. die Rippen werden ein wenig gehoben und fallen dann wieder in ihre Ruhestellung

zurück, und diese kleinen Bewegungen setzen das Zwerchfell passiv in Bewegung. Wird jedoch die Reizung verstärkt, dann sieht man neben der Erschlaffung des Zwerchfells eine deutliche Contraction der Bauchmuskeln, und die Rippen werden stark niedergezogen.

Hiermit steht eine Angabe Schiff's im Widerspruch, welcher durch meine vorläufige Mittheilung an die Pariser Academie veranlasst wurde, sich ebenfalls mit dem Gegenstande zu beschäftigen. Er giebt an, die Thatsachen, welche ich mitgetheilt hatte, „in ihrem ganzen Umfange" bestätigen zu können. „Es bleibt, fährt er fort [1]), uns nur die beiläufige Bemerkung hinzuzufügen, dass wir oft beobachtet, dass bei starker Reizung des Laryngeus der Brustkasten nicht im Zustande der ganz vollendeten Exspiration ruht, dass vielmehr nach Aufhören der Reizung und vor der ersten Inspiration die Brust noch ein wenig mehr zusammensinkt. Wir erkannten dies am besten bei Hunden und Kaninchen, wenn wir eine lange Nadel als Index in die unteren Zwischenrippenräume eingebracht hatten."

Es ist nicht ganz ersichtlich, was Schiff mit dem „Zustande der ganz vollendeten Exspiration" meint. Hat er die Stellung im Auge, welche der Thorax bei normaler Athmung oder nicht allzustarker Dyspnoe erreicht, also die Stellung, welche er ohne alle Muskelwirkung, nur in Folge seiner elastischen Kräfte einnimmt, so könnte jene von Schiff beobachtete Stellung nur hervorgebracht sein durch Thätigkeit inspiratorischer Muskeln. Wir würden dann die gewiss höchst auffällige Erscheinung haben, dass neben der Erschlaffung des Zwerchfells andere Inspiratoren tetanisch contrahirt wären. Etwas derartiges habe ich niemals beobachtet. Der Thorax der Kaninchen, Hunde und Katzen nahm stets die Stellung ein, welche absoluter Ruhe sämmtlicher Inspirationsmuskeln entsprach. Ich glaube aber auf meine Beobachtungen um deswillen einen grösseren Werth legen zu dürfen,

[1]) Moleschr. Unters. VIII. 313.

weil ich die Stellung sämmtlicher Rippen und das Verhalten der einzelnen Muskeln gesondert untersuchte. Das Einführen einer Nadel in die unteren Zwischenrippenräume ist, wie wir schon im vorigen Capitel gesehen haben, kein ganz untrügliches Zeichen für die Wirkung der die unteren Rippen hebenden Muskeln. Denn die Stellung der letzteren wird auch verändert durch die Lageveränderung der Baucheingeweide, und zwar zuweilen in ganz gleicher Weise durch Muskelwirkungen, welche in Bezug auf die Athmung von ganz entgegengesetzter Bedeutung sind. So haben wir z. B. gesehen, dass eine starke Zwerchfellscontraction die unteren Rippen nach Aussen führt, weil die verkleinerte Bauchhöhle ihren Horizontaldurchmesser zu vergrössern strebt (das Thier ist dabei auf den Hinterbeinen aufrecht stehend gedacht). Dasselbe muss aber auch stattfinden, wenn der Rauminhalt der Bauchhöhle verkleinert wird durch Contraction der Bauchmuskeln. Die Eingeweide werden dann, bei gleichzeitig erschlafftem Zwerchfell hoch nach oben unter die Rippen gedrängt und schieben diese nach Aussen. Hört die Reizung auf, so erschlaffen zunächst die Bauchmuskeln und sogleich, noch ehe das Zwerchfell seine erste Contraction macht, gehen die Rippen in die ihnen durch die Elasticität ihrer Knorpel u. s. w. zukommende Lage zurück. Da nun Schiff von starker Reizung spricht, bei welcher die Bauchmuskeln doch wahrscheinlich zusammengezogen waren, so würde diese Erklärung für das von ihm gesehene Phänomen wol die naturgemässeste sein.

Bei jedem Nerven, besonders gut aber an solchen, welche schon etwas an ihrer Erregbarkeit eingebüsst haben, lässt sich eine Stärke der Reizung finden, bei welcher der Thorax nicht ruhig ist, sondern während der ganzen Reizungszeit hastige, kurze Bewegungen macht. Währenddessen ist das Zwerchfell stets vollständig erschlafft und wird nur passiv bewegt, wie wir dies schon im fünften Capitel gesehen haben. Bei der Kleinheit der Bewegungen ist es äusserst schwer, zu sagen, welcher Art sie sind, ob nämlich dabei der Thorax aus der Ruhestellung

durch die Wirkung inspiratorischer Muskeln etwas gehoben oder durch die Wirkung exspiratorischer Muskeln etwas gesenkt wird. Nur mittelbar lässt sich hier eine Entscheidung, wenn auch nicht mit absoluter Bestimmtheit, geben. Beobachtet man nämlich das Zwerchfell genau, so sieht man, dass es während der Pausen sehr stark gewölbt ist, bei jeder Thoraxbewegung aber noch weiter nach oben zurückweicht. Ein solches weiteres Zurückweichen des schon ganz erschlafften Zwerchfells kann aber nur bewirkt werden durch eine Verengerung des Thorax, bei welcher die Ansatzpuncte des Zwerchfells sich nähern und so den Lungen Gelegenheit geben, sich in Folge ihrer Elasticität noch mehr zusammen und das Zwerchfell nach Oben zu ziehen. Dieser Schluss wird noch unterstützt durch den Umstand, dass jene Bewegungen auftreten bei einer Stromstärke, welche nur wenig unter der liegt, wo die Exspiratoren sich deutlich und kräftig dauernd zusammenziehen. Dadurch wird es sehr wahrscheinlich, dass jene Bewegungen nur schwache exspiratorische seien, die eben bei verstärkter Reizung in dauernde, tetanische Zusammenziehung exspiratorischer Muskeln übergehen.

Diese Deutung wird noch mehr bestärkt durch die Erscheinungen, welche man an Katzen beobachtet. Bei diesen Thieren sind bekanntlich schon im normalen Athmen die Bewegungen des Thorax sehr stark und leicht zu beobachten. Reizt man nun mit allmählich stärker werdenden Strömen, so sieht man der Reihe nach Folgendes: Zuerst wird die Athmung langsamer und zugleich kräftiger, aber die Congruenz der Zwerchfell- und Thoraxbewegungen bleibt dabei erhalten. Verstärkt man den Strom etwas, so hört die Athmung ganz auf, und der Thorax bleibt in der Ruhestellung stehen, in welcher gar keine Muskelcontraction stattfindet. Ob die Bewegungen des Thorax vielleicht schon bei schwächerer Reizung aufhören, als die des Zwerchfells, habe ich nicht ausmachen können. Der Unterschied, wenn ein solcher überhaupt besteht, kann nur gering sein. Wird dann die Reizung noch mehr verstärkt, so

erscheinen die oben besprochenen kleinen Bewegungen, welche endlich bei ganz starker Reizung einer kräftigen stetigen Zusammenziehung der Exspiratoren Platz machen. Man sieht jene kleinen Bewegungen sehr deutlich an den passiven Bewegungen des Zwerchfells in der Curve Fig. 3, Taf. II, welche von einem kleinen Kätzchen gewonnen ist. Es zeigt sich an dieser Curve ganz deutlich, dass die Ausbiegungen nach Unten noch weiter gehen, als sonst der Exspirationsstellung des Zwerchfells entspricht, was ganz den obigen Auseinandersetzungen gemäss ist.

Wir können also aus diesen Versuchen den Schluss ziehen, dass die Reizung des Laryngeus superior die Inspiration unterdrücke und in ihren höheren Graden exspiratorische Muskeln zur Zusammenziehung anrege, eine Wirkung, welche also der des Vagus gerade entgegengesetzt ist.

Es bleibt uns noch übrig, Einiges über die concomitirenden Athembewegungen bei Laryngeusreizung zu sagen.

Die Bewegungen der **Stimmbänder** sind bei Durchschneidung des Laryngeus superior nicht wesentlich geändert, zumal wenn man bei grösseren Thieren den äusseren Ast des Nerven erhält, so dass auch nicht einmal der Cricothyreoideus gelähmt wird. Aber selbst, wenn dies auf beiden Seiten der Fall ist, so wird, wie wir gesehen haben, nur eine etwas grössere Breite der Glottis vocalis bei der Exspiration die Folge sein, die eigentlichen Bewegungen der Stimmbänder sind aber stets erhalten. Reizt man nun das centrale Ende eines oder beider Laryngei so sieht man stets, wenn es nicht zum Stillstand der Athembewegungen kommt, eine Verlangsamung der Stimmbänderbewegung, aber mit gleichzeitiger Verstärkung, so dass besonders der Schluss der Stimmritze bei der Exspiration ein sehr vollständiger ist, indem die Processus vocales der Giessbeckenknorpel sich übereinander schieben und, was bei der normalen Athmung gar nicht

vorkommt, auch die Mm. arytaenoidei proprii sich zusammenziehen und die Glottis respiratoria verengern. Dies wird noch deutlicher, wenn man die Reizung verstärkt. Hier sieht man dann, bei gleichzeitiger Erschlaffung des Zwerchfells und Stillstand des Thorax einen vollständigen Verschluss der Stimmritze, besonders wenn beide äusseren Laryngeusäste erhalten sind, so dass sich der Cricothyreoideus ganz contrahiren kann. Die Stimmritze stellt sich dann bei der Betrachtung von Unten dar als eine gerade Linie, nur unterbrochen von den etwas vorspringenden Processus vocales der Giessbeckenknorpel. Ich möchte dies Bild vergleichen mit dem einer geschlossenen Mitralklappe, nur dass die Begrenzung bei der Stimmritze noch schärfer ist.

Dieses Verhalten der Stimmritze im Verein mit den Erscheinungen am Zwerchfell und Thorax erläutern nun ganz das Bild, welches der Athemapparat beim Husten darbietet. Die Angaben über den Mechanismus des Hustens, welche man in den gangbaren Handbüchern der Physiologie findet, beschränken sich meist darauf, der Husten bestehe aus exspiratorischen Bewegungen bei geschlossener Stimmritze. Für die Hauptsache aber, nämlich für das Ausfallen der Zwerchfells- und anderen inspiratorischen Bewegungen fehlte es bis jetzt an der Grundlage, welche allein der experimentelle Nachweis liefert. Diese Lücke ist durch die hier mitgetheilten Thatsachen ausgefüllt. Gelangt ein fremder Körper an die Stimmritze, oder wird diese sonst irgendwie gereizt, so wird diese Erregung zunächst einen Schluss der Stimmritze und eine Unterbrechung der Zwerchfellsbewegungen zur Folge haben. Durch diesen letzteren Umstand ist zunächst unmöglich gemacht, dass der fremde Körper, auch wenn er schon die Stimmritze ganz oder zum Theil passirt haben sollte, noch tiefer in die Luftwege hineingezogen werde. Denn es ist klar, dass Contractionen exspiratorischer Muskeln erst durch diese Unterbrechung der sonst stetigen inspiratorischen Bewegungen ihre volle Wirksamkeit zur Austreibung des frem-

den Körpers enfalten können. Solche exspiratorischen Bewegungen treten aber stets ein, wenn der auf den Laryngeus wirkende Reiz stark genug ist, und diese kleinen Zusammenziehungen exspiratorischer Muskeln bewirken, da die Stimmritze geschlossen ist, jene Reihe von Detonationen, welche den Husten characterisiren. Wenn aber der Reiz noch stärker wird, so entseht der exspiratorische Krampf, welcher bei dem sogenannten Keuchhusten, der tussis convulsiva, vorkommt, die also in dieser Beziehung ihren Namen ganz mit Recht verdient. Dieselbe Reihe von Vorgängen muss sich natürlich auch einstellen, wenn Schleim aus dem Innern der Luftwege durch die Flimmerbewegung bis an das Gebiet des Laryngeus superior in die Höhe befördert wird und nun den Nerven reizt, und gerade hier sehen wir oft die höchsten Grade des krampfhaften Hustens eintreten, wenn der Schleim wegen seiner Zähigkeit längere Zeit im Kehlkopf verweilt.

Diese Erscheinungen des Hustens durch Laryngeusreizung haben Nichts gemein mit dem Husten, welchen wir willkürlich erzeugen können, denn bei dem letzteren treten die exspiratorischen Bewegungen, die Zusammenziehungen der Bauchmuskeln, primär ein und ziehen die Rippen stossweise nach abwärts. In den Pausen zwischen diesen stärkern Contractionen bleiben die Bauchmuskeln dauernd zusammengezogen und drängen das Zwerchfell trotz des vorhandenen Contractionsbestrebens nach Oben, während bei Laryngeusreizung gerade die Erschlaffung des Zwerchfells das Erste ist. Deswegen ist auch der willkürlich erzeugte Husten stets von kurzer Dauer, indem der stärker werdende Blutreiz die Medulla oblongata bald zu einer intensiven Inspiration reizt, trotz des widerstrebenden Willens.[1])

[1]) Nach Krimer erzeugt Reizung der Stimmbänder keinen Husten mehr, wenn beide Vagi durchschnitten sind. Wahrscheinlich ist Durchschneidung oberhalb des Abganges der Laryngei superiores gemeint. Aber auch wenn diese erhalten sind, hat Krimer's Bemerkung noch einen Sinn. Fällt nämlich die Reizung in die lange Respirationspause, so kann sie

Die Bewegungen des **Kehlkopfes** werden bei der Laryngeusreizung nicht immer ganz aufgehoben. Zuweilen sieht man, während Zwerchfell und Thorax stillstehen, hastige Aufwärtsbewegungen des Kehlkopfes und Wiederzurücksinken, jedoch niemals zu der Tiefe, bis zu welcher er bei der Inspiration und bei Vagusreizung gelangt. Immer aber ist der Cricothyreoideus entweder einer Seite oder auch beider, wenn nur der innere Ast des Laryngeus superior durchschnitten ist, zusammengezogen und Ring- und Schildknorpel einander stark genähert. Der erstere ist dabei mit seinem oberen Rande nach Hinten, mit seinem unteren nach Vorn gedreht. Ist der Laryngeus auf einer Seite ganz durchschnitten, so kommt der Schildknorpel dabei schief zu stehen, indem er nur auf der unverletzten Seite dem Ringknorpel genähert wird. Dies kann dann oft den Eindruck machen, als ob der Kehlkopf abwärts steige, obgleich nur der Schildknorpel dem Ringknorpel genähert wird und zwar zuweilen in stärkerem Grade, als die Hebung des ganzen Kehlkopfes beträgt, besonders wenn der Ringknorpel durch die zur Offenhaltung der Wunde von mir gewöhnlich angewandten, mit Gewichten beschwerten Haken etwas in seinen Bewegungen gehemmt wird.

Die **Nasenlöcher** endlich sind bei der Laryngeusreizung meist sehr stark verengt, niemals erweitert.

Ich stelle hier noch einige Versuche als Beispiele her, welche die Erscheinungen besser als viele Worte deutlich machen werden.

---

natürlich nicht die eigenthümliche Erscheinung des Hustens — plötzlichen Nachlass der Inspiration — bewirken. Fällt sie aber in die Zeit der Inspiration, so ist diese, wie wir gesehen haben, zu mächtig, um sogleich unterbrochen zu werden. Sie wird erst vollendet, und die Laryngeusreizung äussert sich nur durch eine Verlängerung der nächsten Pause. Vgl. oben p. 68 und den Versuch auf p. 70.

Erster Versuch. Grosser Kater, auf dem Rücken befestigt, eine Drachme Tinct. opii simpl. in die V. jugularis sin. gespritzt. Unmittelbar darauf setzt die Athmung aus, es entstehen Convulsionen, Pulsfrequenz sehr beschleunigt, Conjunctiva noch empfindlich. Diese Erscheinungen gehen vorüber und nach ohngefähr einer Viertelstunde liegt das Thier in tiefem Sopor, athmet tief und ruhig, die Augenlieder schliessen sich bei Berührung, starkes Kneipen der Haut wird nicht beantwortet. 16 Athmungen in 30 Secunden.

Zur Reizung dient der Magnetelectromotor mit einem Daniell'schen Element und Helmholtz'scher Einrichtung. Der linke Laryngeus wird präparirt und durchschnitten, Trachealfistel angelegt, durch welche man die Bewegungen der Stimmbänder deutlich sieht.

Reizung bei 100mm Rollenabstand: Stimmritze fest geschlossen während der ganzen Dauer der Reizung. (Der Versuch wird mehrmals mit demselben Erfolge wiederholt). Gleichzeitig wird der Kehlkopf in die Höhe gezogen.

Die rechte Thoraxhälfte wird blosgelegt, Pectoralis entfernt. Man sieht die Rippen von der dritten ab bei jeder Inspiration sich heben. Zusammenziehung der Scaleni ist mit Sicherheit nicht nachzuweisen.

Reizung bei 100mm Rollenabstand: Die Bewegung des Zwerchfells wird auf einen Augenblick sistirt, beginnt dann aber wieder.

Reizung bei 80mm Rollenabstand: Das Zwerchfell erschlafft, Der Thorax geht in Exspirationsstellung über und macht in dieser kleine ruckweise Bewegungen.

Reizung bei 120mm Rollenabstand: Die Bewegungen des Zwerchfells und des Thorax werden verlangsamt. Die des ersteren sind bedeutend, die des letzteren nur wenig verstärkt. Vor und nach der Reizung 9, während der Reizung 7 Athmungen in 15 Secunden.

Zweiter Versuch. Grosser Kater auf dem Rücken befestigt, durch Injection von Morphium aceticum in die Bauchhöhle narcotisirt.

Zur Reizung dient der Magnetelectromotor mit einem DANIELL'schen Element und gewöhnlicher Anordnung.

Reizung bei 200mm Rollenabstand: Das Zwerchfell erschlafft, der Thorax steht in Ruhestellung still, kein Muskel ist contrahirt, der Kehlkopf bewegt sich hastig auf und nieder.

Reizung bei 160mm Rollenabstand: Erschlaffung des Zwerchfells, tetanische Zusammenziehung der Bauchmuskeln. Thorax stark verengert und Rippen nach abwärts gezogen.

Dritter Versuch. Grosse Katze auf dem Rücken befestigt. 34 Athmungen in 1 Minute. Rechter Laryngeus präparirt, Brust entblösst, Pectoralis entfernt.

Zur Reizung dient der Magnetelectromotor mit HELMHOLTZ'scher Einrichtung und einem DANIELL'schen Element.

Reizung bei 200mm Rollenabstand: Hat gar keinen Einfluss.

Reizung bei 150mm Rollenabstand: Erschlaffung des Zwerchfells, Ruhestellung des Thorax ohne jede Bewegung, Spur von Contractionen im abgelösten Obliquus externus.

Reizung bei 120mm Rollenabstand: Erschlaffung des Zwerchfells, Ruhestellung des Thorax mit kleinen Bewegungen. Der Obliquus macht erst eine etwas anhaltende schwache Contraction, dann rhythmische schwache Zusammenziehungen.

Reizung bei 80mm Rollenabstand: Starke tetanische Exspiration.

Es wird Tracheotomie gemacht, so dass die Stimmritze von Unten sichtbar ist. Bei der Reizung wird sie krampfhaft geschlossen, der Kehlkopf nach Oben gezogen, die Cart. thyreoidea stellt sich schief nach links hinüber.

Vierter Versuch. Grosser, kräftiger Hund, auf dem Rücken befestigt, mit Aether narcotisirt. Rechter Laryngeus blosgelegt, der innere Ast allein durchschnitten und freipräparirt, die

Bauchhöhle geöffnet. 6 Athmungen in 15 Secunden. Mässige Contractionen des Zwerchfells mit gleichzeitiger Hebung der Rippen. Der Kehlkopf wird bei der Inspiration abwärts gezogen.

Zur Reizung dient der Magnetelectromotor mit einem Daniell und HELMHOLTZ'scher Einrichtung.

Reizung bei 80mm Rollenabstand: Das Zwerchfall erschlafft, der Thorax verengt sich. Die Verengerung des Thorax lässt nach einiger Zeit nach und gleich darauf zieht sich das Zwerchfell zusammen und die Rippen werden stark gehoben.

Reizung bei 50mm Rollenabstand: Das Zwerchfell erschlafft, der Thorax wird stark verengert. Nach 10 Secunden krampfhafte Contraction des Zwerchfells mit starker Hebung der Rippen. Dann bei unterbrochener Reizung beschleunigte Athmung, welche allmählich wieder langsamer wird. Der Ringknorpel geht bei Beginn der Reizung nach Unten, dann wieder nach Oben und bleibt dort stehen. Er ist dem Schildknorpel sehr genähert und sein unterer Rand nach Vorn gedreht (Contraction des Cricothyreoideus).

Der äussere Ast wird präparirt und allein gereizt: keine Wirkung. Reizung des ganzen Nerven giebt dieselben Erscheinungen, wie vorher.

Reizung bei 60mm Rollenabstand: Das Zwerchfell erschlafft, der Thorax verengert sich. Bald darauf beginnt der Thorax kleine ruckende Bewegungen; der Kehlkopf steigt hastig auf und nieder. Nach 10 Secunden contrahirt sich das Zwerchfell. Die von Unten her durch eine Trachealfistel beobachtete Stimmritze bleibt während der Reizung dauernd geschlossen.

Ein hierher gehöriger Versuch am Kaninchen ist schon oben S. 70 mitgetheilt.

ELFTES CAPITEL.

Einfluss anderer Nerven auf die Athembewegungen.

Dass der Stamm des Vagus und der Laryngeus superior nicht die einzigen Nerven seien, welche auf die Athembewegungen ändernd einwirken können, hatten wir schon öfter Gelegenheit zu bemerken. Besonders auf die Hautnerven sind wir aufmerksam geworden schon durch die einfache Erfahrung, dass bei Berührung mancher Hautstellen mit kaltem Wasser eine tiefe Inspiration sich einstellt. Auch das Niesen ist ja ein Beweis, dass Trigeminusfasern ändernd auf den Athemmechanismus einwirken können. Es ist nicht meine Absicht, auf diesen Gegenstand hier genauer einzugehen, welcher mit dem nächsten Ziele dieser Untersuchung nicht direct zusammenhängt und einer gesonderten Bearbeitung bedarf. Ich will hier nur einige wenige Nerven berücksichtigen, und besonders solche, welche in der Nähe des Vagus und Laryngeus verlaufen, deren unabsichtliche Reizung durch Stromschleifen daher möglicher Weise zu Täuschungen Veranlassung geben könnte.

Ich beginne zunächst mit dem peripherischen Ende des Vagus, von welchem aus LÖWINSOHN und BERNARD bei Kaninchen ganz dieselben Erscheinungen gesehen zu haben angeben,

als bei Reizung des centralen Endes [1]). Die Deutung, welche Löwinsohn diesem Erfolge zu geben versuchte, als werde der Phrenicus nach Art der paradoxen Zuckung vom Vagus erregt, scheitert nicht daran, dass jene Nerven nirgends dicht bei einander liegen (denn darauf kommt es gar nicht an, da sie ja jedenfalls nicht durch Isolatoren getrennt sind), sondern daran, dass eine solche Erregung im Körper wahrscheinlich ganz unmöglich ist. Denn die Veränderungen der electromotorischen Verhältnisse eines Nerven können doch nur dann erregend auf einen anderen Nerven wirken, wenn der durch den anderen gehende Stromantheil in diesem eine genügende Dichte hat. Dieser Bedingung wird aber nicht genügt, wenn beide Nerven in der grossen leitenden Masse des Körpers liegen. Wäre dem nicht so, dann wäre ja eine isolirte Erregung der Nerven im lebenden Körper weder durch den Willen noch durch äussere Einwirkungen überhaupt nur möglich. Wenn also in Löwinsohn's Versuch eine Reizung des Phrenicus stattfand, so war sie gewiss nur von einem directen Uebergang der zur Reizung angewandten Ströme bedingt. Zwar könnte es dann auffallen, dass die Erregung des Sympathicus bei Löwinsohn nicht ebenfalls zu denselben Erscheinungen Veranlassung gab, aber dieser war wahrscheinlich höher oben durchschnitten und seine Reizung daher unter weniger günstigen Verhältnissen für die Entstehung von unipolaren Erregungen und Stromschleifen ausgeführt.

Ich selbst habe niemals von der Reizung des peripherischen Vagusendes irgend eine Einwirkung auf die Athmung gesehen. Auch habe ich nicht gesehen, dass nach geöffnetem Thorax ein mit der Luftröhre verbundenes Manometer irgend eine Schwankung zeigte, wenn das peripherische Vagusende gereizt wurde. Ich muss daher bezweifeln, ob im Vagus centrifugale Fasern enthalten seien, welche irgend etwas mit den Athembewegungen zu thun haben.

---

[1]) Siehe p. 31 f.

Ebensowenig sieht man irgend einen Erfolg, wenn man das centrale Ende des Recurrens reizt. Dieser Nerv enthält keine centripetalleitende Fasern.

Dass der äussere Ast des Laryngeus superior ebenfalls unwirksam ist, hat schon mehrmals erwähnt werden müssen. Auch SCHIFF hat dies gefunden.

Nicht minder unwirksam ist der Sympathicus, wo man ihn auch reizen möge.

Dass die wirksamen Fasern des Vagus sich erst im Thorax zu ihm gesellen, kann ich mit Bestimmtheit versichern. Ich habe den Vagus an der Cardia zu wiederholten Malen gereizt, ohne einen Erfolg zu sehen. Der Versuch wird erschwert durch die beschränkten Raumverhältnisse und die Nähe des Zwerchfells, welches leicht direct von den Strömen getroffen wird. Er ist aber bei vorsichtiger Anstellung ganz sicher. Dass die wirksamen Fasern aus dem Plexus pulmonalis stammen, ist wol mehr als wahrscheinlich, der directe Nachweis ist aber sehr schwer. Nur ein Mal ist es mir gelungen, nach Eröffnung der rechten Pleurahöhle eine Anzahl der feinen die Verästelung der Arteria pulmonalis und der Bronchien begleitenden Fäserchen zu isoliren und durch Reizung des Bündels Contraction des Zwerchfells zu bewirken. Dass keine Stromschleifen vorhanden waren, bewies der unveränderte Rhythmus des Herzens.

SCHIFF[1]) sagt, nachdem er die Erscheinungen bei Vagusreizung beschrieben: „Sehr starke Ströme hatten manchmal die eben beschriebene Wirkung, auch wenn sie beim enthirnten Thier (Meerschweinchen) auf den Hypoglossus oder den zweiten Cervicalnerven angewendet wurden, und zwar war hier die Inspiration dauernder. Es scheint hier eine secundäre Stromeswirkung die Vagusfasern erst nach ihrem Eintritt in die Markmasse zu erregen.“ Ich weiss freilich nicht, was SCHIFF unter einer secundären Stromeswirkung versteht; es scheint mir aber viel

[1]) Lehrbuch der Physiologie I. 413.

wahrscheinlicher, dass die Wirkung auf den Vagus primär stattgefunden habe, und auch nicht nach, sondern schon vor seinem Eintritt ins Mark, das heisst einfach, ich glaube, dass ein Theil der starken Ströme direct auf den Vagus übergegangen sei.

In der schon erwähnten neuesten Arbeit giebt SCHIFF an, dass „bei vielen Thieren noch eine Menge anderer Nerven zum Theil aus den verschiedensten Regionen des Körpers, welche zum verlängerten Mark in reflectorischer Beziehung stehen, dieselbe Eigenschaft (wie der Laryngeus superior) besitzen." Solche Nerven sind bei Kaninchen und Meerschweinchen einige Zweige des N. infraorbitalis, besonders die zu den Nasenlöchern gehenden, ferner der kleine Vagusast, welcher unmittelbar über dem Foramen stylomastoideum hinter dem Ohre hinaufsteigt, der Mentalis, Supraorbitalis, Temporalis; bei einigen Kaninchen alle Hautnerven des Kopfes, des Halses, der Brust, bei anderen alle Hautnerven der vorderen Körperhälfte, bei noch anderen alle Hautnerven längs der ganzen Mittellinie des Rückens über den Dornfortsätzen, endlich bei manchen sämmtliche Hautnerven. Die schwache (mechanische) Reizung aller dieser Nerven erzeugt Verlangsamung der Athmung und selbst „eine Zeitlang Stillstand in Exspiration." Eigentlichen Schmerz darf man dabei nicht erregen, weil dieser die Athmung beschleunigt. Auch ist nicht etwa Angst die Ursache, denn wenn man während der Reizung einen Hund oder eine Katze nähert, so steigt die Athemfrequenz, um nach dem Entfernen des Feindes wieder zu sinken.

Bei Fröschen brauche man sehr mächtige Ströme des Inductionsapparates, um von verschiedenen Körpergegenden aus die Athmung in exspiratorischem Zustande zur Ruhe zu bringen. Die Kehlhaut sei dabei erschlafft. Stromschleifen seien nicht die Ursache, denn wenn solche die Kehlhaut treffen, so ziehe sie sich zusammen. Die Nerven der Wade, des Schenkels, der Vorderfüsse hätten diese Wirkung. Reizung gewisser neben dem Steissbein gelegener Nervenstämme mache das Spiel der Nasenlöcher aufhören, während die Kehlhaut in verlangsamtem Tempo

weiter schlage. An Kröten erzeugte SCHIFF exspiratorischen Stillstand durch chemische Reize, bei Eidechsen durch electrische Reizung der Schenkelnerven.

Bei Hunden und Katzen gehen die Versuche nicht, weil die Haut zu empfindlich sei. Aetherisire oder chloroformire man aber das Thier, bis alle Athembewegung ganz aufgehört habe, belebe es dann wieder durch künstliche Athmung, bis es wieder regelmässig, aber schwach athme, und reize dann die Nerven des Kopfes, des Halses, der Extremitäten oder der Mittellinie des Rückens etwas lebhaft mechanisch, so erschlaffe das Zwerchfell anhaltend, und das Thier sinke von Neuem asphyctisch zusammen. In allen diesen Fällen sehe man gleichzeitig mit der Abnahme der Respirationsfrequenz auch die Zahl der Herzschläge sich bedeutend vermindern.

Diese letzten Versuche habe ich nicht wiederholt, da die speciellen Versuchsbedingungen mir zu complicirt erscheinen, als dass ein Vergleich mit den Erfolgen der Laryngeusreizung, welche stets und unter allen Umständen eintreten, wenn nur der Reiz nicht zugleich den Vagus trifft, zulässig wäre. Auch die Versuche an Fröschen sind nicht der Art, um aus ihnen sichere Schlüsse zu ziehen. Dass nur äusserst starke Inductionsströme jene Wirkung ausüben, giebt SCHIFF selbst an. Was hat aber unter solchen Umständen, wo die Thiere sich in den heftigsten Schmerzen winden, ein Ausbleiben der Athmung für Aehnlichkeit mit dem, was man bei Laryngeusreizung sieht? Diese Versuche sind nicht eindeutig genug, um aus ihnen Schlüsse zu ziehen. Auch missglückt der Versuch sehr oft, und es wären daher erst die näheren Bedingungen festzustellen, unter welchen er gelingt. Ich habe ein wirkliches Erschlaffen der Kehlhaut nur ein einziges Mal gesehen. Dabei aber gerieth der ganze Frosch in den heftigsten Tetanus und zwar auch das Bein, dessen Nerv durchschnitten war. Es waren also offenbar unipolare Wirkungen vorhanden. Dass aber diese an dem Erfolge nicht unschuldig waren, ging aus dem Umstande hervor, dass

die Athmung sogleich wieder begann, sobald der Fuss des Frosches mit der Erde in leitende Verbindung gebracht wurde, wodurch natürlich die unipolaren Wirkungen von dem Vordertheile des Frosches abgeleitet wurden. Eine Verlangsamung der Athmung habe ich nie gesehen, sondern von dem einen Falle abgesehen, wo die Athmung ganz aufhörte, war entweder gar keine Wirkung, oder die Bewegungen waren bei gleichbleibender Zahl nur schwächer. Dies ist aber bei Laryngeusreizung nie der Fall, sondern hier werden die Athembewegungen entweder ganz unterdrückt, oder sie werden langsamer, dann aber zugleich stärker.

Die Versuche an Kaninchen haben mir andererseits nicht ganz die Erfolge gegeben, welche SCHIFF anführt. Bei nicht narcotisirten Thieren blieb jeder Erfolg aus, wenn die Reizung so schwach war, dass das Thier nicht beunruhigt wurde. Dass stärkere Reize nicht geeignet seien, die Sache zu zeigen, sagt SCHIFF selbst. Zwar ist mir nicht ganz erklärlich, wie SCHIFF sich dies denkt, wenn er sagt, dass der durch stärkere Reizung bewirkte Schmerz die Respiration beschleunige, während er doch dem Laryngeus jede specifische Einwirkung abstreitet, und meint, dass auch er nur als sensibeler Nerv wirke. Danach müsste doch der Laryngeus bei stärkerer Reizung auch Schmerz erregen und also die Respiration beschleunigen, was man doch niemals sieht. Soll also sensibel nicht einfach gleichbedeutend sein mit centripetalleitend, so muss doch der Laryngeus jedenfalls eine besondere Wirkung haben und nicht blos als sensibeler Nerv wirken. Wie dem aber auch sei, ich sah mich genöthigt, um SCHIFF's Versuche zu wiederholen, narcotisirte Thiere anzuwenden. Hier fand ich nun von all den Hautstellen, deren Reizung nach SCHIFF die Respiration verlangsamt, allein die Nasenflügel wirksam. Sowohl durch Drücken derselben zwischen den Fingern, als durch electrische Reizung konnte ich Verlangsamung der Athmung und Stillstand mit erschlafftem Zwerchfell erhalten, wenn auch nicht auf so lange Zeit, als dies vom Laryngeus

superior aus möglich ist. Hier sind also wirklich Fasern, welche zu dem respiratorischen Centralorgan in reflectorischer Beziehung stehen. Ich muss es aber dahingestellt sein lassen, ob diese Fasern, wie SCHIFF meint, Zweige des N. infraorbitalis zur Haut der Nasenflügel sind, oder nicht vielmehr die Schleimhautnerven der Nase, deren reflectorische Beziehungen zum Athmungscentrum schon das Niesen beweist.

Soviel über diesen Punct, welcher hier für uns nur ein nebensächliches Interesse hat. Ich habe bisher nicht Musse gefunden, den Gegenstand weiter zu verfolgen, aber es wäre gewiss von Interesse, die durch SCHIFF wieder angeregte Frage nach den Beziehungen der Hautnerven zur Athmung weiter zu verfolgen.

ZWÖLFTES CAPITEL.

Schluss.

Die vorstehend mitgetheilten Versuchsergebnisse haben gezeigt, dass die Ansicht derer ganz unhaltbar ist, welche glauben, die Reizung des centralen Vagusstumpfes bewirke einen Stillstand der Athmung in der Exspirationsphase. Ganz im Gegentheil haben wir gesehen, dass überall, wo ein Stillstand zu Stande kommt, stets Inspirationsmuskeln zusammengezogen, sämmtliche Exspirationsmuskeln aber erschlafft sind. Die Ausnahmen von diesem Verhalten lassen sich zurückführen auf eine gleichzeitige Erregung anderer Fasern, welche hauptsächlich im Laryngeus superior enthalten sind. Es wird nun unsere Aufgabe sein, zu untersuchen, wie weit es möglich ist, die gewonnenen Ergebnisse unter einen allgemeinen Gesichtspunkt zu bringen und für das Verständniss des Mechanismus des respiratorischen Centralapparates zu verwerthen.

Zu dem Ende wird es nöthig sein, nochmals auf die Vorstellungen zurückzugehen, welche wir uns über die Ursache der Athembewegungen gebildet haben, um zu versuchen, wie weit wir auf Grund dieser Vorstellungen mit Zuhülfenahme der neugewonnenen Kenntnisse kommen, oder nöthigerweise jene nach Bedürfniss zu vervollständigen und zu verbessern. Im ersten

Capitel habe ich darzuthun gesucht, dass die Athembewegungen nicht in dem Sinne als automatische zu bezeichnen sind, dass die Ganglien des noeud vital schon an sich, vermöge eines ihnen immanenten Mechanismus thätig sein müssen. Im Gegentheil, Alles sprach dafür, dass diese Ganglien erst vom Blute aus die Anregung zu ihrer Thätigkeit empfangen. Ich habe mich ferner bemüht, darzuthun, dass die erregende Eigenschaft dem Blute nur zukomme, so lange sein Sauerstoffgehalt unter einer bestimmten Grenze bleibe, und dass die Erregung um so stärker sei, je mehr der Sauerstoffgehalt unter diese Grenze sinke. Die Beweise für diese Behauptung waren, um es nochmals kurz zusammenzufassen, folgende:

1. Die Athembewegungen werden um so schwächer, je mehr Sauerstoff dem Blute zugeführt wird und sie hören bei einer bestimmten Grösse der Sauerstoffzufuhr ganz auf.[1])
2. Mit der Abnahme des Sauerstoffgehaltes im Blute werden die Athembewegungen stärker, so lange nur die Leistungsfähigkeit der Athembewegungsapparate nicht zu sehr leidet.
3. Der Kohlensäuregehalt des Blutes hat auf die Grösse der Athembewegungen unmittelbar gar keinen Einfluss, da er sehr sinken kann, ohne dass die Athembewegungen schwächer werden (Traube), und sehr steigen, ohne dass sie stärker werden (Regnault und Reiset, W. Müller).

Dass diese Erregung der Medulla oblongata genüge, um die regelmässige Athmung zu erhalten, ging hervor aus der Thatsache, dass die Athembewegungen fortdauern, wenn die Medulla oblongata von den darüber und darunter liegenden Partien des Centralnervensystems getrennt, und ausserdem die Vagi durchschnitten sind. Dagegen habe ich es an jener Stelle unentschieden gelassen, ob nicht neben jener Erregung durch das Blut noch eine andere durch centripetalleitende Nerven

[1]) Vgl. in dieser Beziehung die im achten Capitel mitgetheilten Versuche mit künstlicher Athmung.

vermittelte bestehe, so dass die schliesslich von der Medulla oblongata geleistete Arbeit die Summe wäre aus der durch den Reiz des Blutes und der durch Nervenwirkung ausgelösten. In letzterer Beziehung den N. vagus ganz besonders zu prüfen, war die Aufgabe der in diesen Blättern mitgetheilten Untersuchung.

Die Ergebnisse der im sechsten Capitel mitgetheilten Versuche haben nun gelehrt, dass eine solche erregende Einwirkung des Vagus bei Säugethieren im normalen Zustande nicht bestehe. Denn es hat sich ergeben, dass die Athmungsgrösse, welche wir als ein sicheres Maass der von der Medulla oblongata geleisteten Arbeit ansehen können, nicht abnimmt, wenn beide Vagi durchschnitten werden. Eine solche Abnahme müsste aber unter allen Umständen erfolgen, wenn die Vagi während des normalen Lebens eine erregende Einwirkung auf die Medulla oblongata ausübten und so die durch den Blutreiz bewirkte Thätigkeit des respiratorischen Centralorgans vergrösserten.

Aus diesem Umstande würde aber noch nicht folgen, dass die Vagi hierzu überhaupt nicht fähig seien. Könnten wir nachweisen, dass bei künstlicher Erregung der Vagi die Thätigkeit der Medulla oblongata dennoch vermehrt werde, so würden wir schliessen müssen, dass diese Einwirkung im normalen Leben nur deshalb nicht zur Geltung komme, weil die Erregung der Vagi zu schwach sei, dass aber unter Umständen eine solche Wirkung wol zu Stande kommen könne. Zwar die mächtigen Veränderungen, welche die Athmung nach Durchschneidung der Vagi erfährt, sprechen nicht sehr zu Gunsten dieser Auffassung, da sie die normale Erregung der Vagi nicht als so geringfügig anzusehen gestatten; aber nur der Versuch kann hier entscheiden.

Nun sehen wir aber, dass auch die künstliche Erregung der Vagi niemals Athembewegungen hervorzurufen vermag, wenn nicht schon vom Blute her die Medulla oblongata zu

solchen angeregt wird. Ist das Zwerchfell durch starke Sauerstoffzufuhr ganz zur Ruhe gebracht, so geräth es auch bei Vagusreizung nicht in Thätigkeit. Zieht sich das Zwerchfell rhythmisch zusammen, bleibt aber der Thorax unbewegt, so sehen wir auch das Zwerchfell bei Vagusreizung in Tetanus verfallen, aber kein Muskel des Thorax contrahirt sich. Ist endlich auch der Thorax schon vermöge geringeren Sauerstoffgehaltes des Blutes in Bewegung, so können auch seine Muskeln durch Vagusreizung in stetige Contraction versetzt werden, und die Menge und Reihenfolge der in Thätigkeit gerathenden Muskeln ist abhängig von der Stärke der schon vorhandenen Reizung durch das Blut. Hieraus folgt:

> Die Thätigkeit der Medulla oblongata wird nur bestimmt durch den Sauerstoffgehalt des Blutes. Die Erregung der Vagi vermag diese Thätigkeit nicht zu vergrössern, sie bewirkt nur eine anderweitige Vertheilung der ins Spiel gesetzten Muskelwirkungen, derzufolge die Athembewegungen häufiger, dafür aber schwächer werden. Die äusserste Grenze dieser Einwirkung hat eine stetige Contraction von Muskeln zur Folge, deren Stärke und Dauer bedingt ist von der Grösse der vorhandenen Reizung.

Um diesen Satz vollständig zu beweisen, und die Uebereinstimmung desselben mit allen bei Vagusreizung auftretenden Erscheinungen darzuthun, wird es nöthig sein, hier eine Untersuchung wieder aufzunehmen, welche wir im ersten Capitel aussetzten, nämlich die Frage, warum die Athembewegungen überhaupt rhythmisch erfolgen.

Wenn die Ursache der Athembewegungen in dem Reize des Blutes zu suchen ist, welches in der Medulla oblongata kreist, so ist anzunehmen, dass dieser Reiz ebenso stetig ein-

wirke, wie die Bewegung des Blutes durch die Capillaren wenigstens nahezu eine stetige ist. Wenn dennoch nicht die in jedem Zeittheilchen stattfindende Reizung sich auf motorische Fasern überträgt und eine stetige Zusammenziehung bewirkt, so muss der Grund dazu in einem besonderen Mechanismus des respiratorischen Centralorganes liegen, und es ist unsere Aufgabe, eine möglichst einfache und brauchbare Vorstellung von der Art dieses Mechanismus uns zu schaffen, an welche die weitere Betrachtung anknüpfen kann.

Betrachten wir die einfachsten Vorgänge, in welchen eine stetige Wirkung umgesetzt wird in eine rhythmische, so zeigen sie alle das Eigenthümliche, dass die stetige Wirkung einen Widerstand findet, welchen sie zuerst überwinden muss, um sich bemerklich zu machen. Ein Beispiel wird klar machen, was ich meine. Man denke sich eine verticale Röhre, unten geschlossen durch eine Platte, welche durch irgend eine Kraft, etwa eine Feder, gegen die Röhre angedrückt wird. In diese Röhre fliesse von oben her aus einem Behälter ein stetiger Strom von Wasser. Das Wasser wird steigen, bis sein Druck den der Feder überwindet. Dann wird die Platte niedergedrückt werden, eine gewisse Menge Wassers wird ausfliessen, der Druck in der Röhre wird sinken und die Feder wird die Bodenplatte wieder andrücken. Dadurch wird die Röhre geschlossen, der Druck in derselben steigt wieder, bis er die Feder zu überwinden vermag u. s. f. So lange also von oben her stetig Wasser zufliesst, wird dasselbe unten in regelmässigen Intervallen ausfliessen. Die Grösse des Intervalles und die Menge des jedesmal ausfliessenden Wassers wird abhängen von der Stärke der Feder und der Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser oben zufliesst. Denken wir uns den Zufluss constant und vermehren die Spannung der Feder, so wird der Rhythmus des Ausfliessens verlangsamt, aber die Menge des jedesmal ausfliessenden Wassers vermehrt; denn das Ausfliessen wird jetzt bei einem höheren Stand des Wassers in der Röhre beginnen,

diesem höheren Druck wird aber eine grössere Ausflussmenge entsprechen. Umgekehrt, wenn bei constantem Zufluss die Spannung der Feder verringert wird, so werden die Intervalle des Ausfliessens kleiner, es muss aber auch jedesmal weniger ausfliessen. Die Menge des in einem bestimmten Zeitraum ausgeflossenen Wassers muss aber stets gleich sein der Menge des Zuflusses. Denn wäre dies nicht der Fall, so müsste das Niveau des Wassers in der Röhre steigen oder sinken, bis sich das Gleichgewicht hergestellt hat. Ebenso ist klar, dass bei gleichbleibender Spannung der Feder die Intervalle des Ausfliessens kleiner werden müssen, wenn die Zuflussgeschwindigkeit wächst und umgekehrt, dass dagegen die Menge des jedesmal ausfliessenden Wassers mit der Zuflussgeschwindigkeit wachsen und abnehmen muss.

Aehnliche Einrichtungen der Art liessen sich noch eine Menge ersinnen. Die Analogie des Vorganges mit den Erscheinungen der Athembewegung liegt auf der Hand. Wie sehen also, dass trotz der stetigen Reizung der Medulla oblongata durch das Blut das rhythmische Auftreten der Athembewegungen sich einfach erklärt mit Hülfe der Annahme, dass die Erregung von den Ganglien nicht so ohne Weiteres auf die motorischen Nerven überzugehen vermag, sondern dass hier ein Widerstand besteht, welcher erst beseitigt werden muss, damit die Erregung sich nach den Muskeln fortpflanze, eine Annahme, welche schon Joh. Müller machte, um diese Erscheinungen zu erklären [1]). Der Sauerstoffgehalt des Blutes entspricht der Zuflussgeschwindigkeit in unserem Gleichniss. Die Schwankungen desselben und etwaige Schwankungen in der Grösse des von uns hypothetisch angenommenen Widerstandes müssen alle Erscheinungen erklären, welche die Athembewegungen darbieten.

---

[1]) Handbuch der Physiologie II. 77. Joh. Müller verwirft diese Erklärung wieder aus Gründen, welche wir später betrachten werden, um zu zeigen,dass sie durchaus nicht so zwingend sind, als es ihm schien.

Ich behaupte nun, dass der Nervus vagus zu jenem Widerstande in einer solchen Beziehung steht, dass dieser letztere durch die Erregung des Vagus verkleinert wird. Wir wollen sehen, wie weit diese Annahme die Thatsachen zu erklären vermag.

Die Aenderungen der Athmung nach Durchschneidung beider Vagi zeigen, dass diese Nerven im normalen Zustande einer stetigen Erregung ausgesetzt sind. Diese Erregung kann nach unserer Annahme Nichts Anderes bewirken, als eine Verkleinerung des in der Medulla oblongata vorhandenen Widerstandes. Fällt die Erregung fort, so muss der Widerstand wachsen. Die Folge davon muss aber sein, dass die Athembewegungen seltener werden, dafür aber intensiver, so dass die Summe der in einer gegebenen Zeit geleisteten Arbeit unverändert bleibt, wie es in der That die Versuche ergeben haben. Die Athmungsgrösse hängt nur ab vom Sauerstoffgehalt des Blutes, mögen die Vagi durchschnitten oder noch erhalten sein.

Wir gehen nun über zur Betrachtung der Folgen der Vagusreizung, und beschränken uns zunächst auf den Fall, wo jene Folgen keine Rückwirkung äussern können auf den Gasgehalt des Blutes, was also die Versuche mit künstlicher Athmung vorstellen würde. In unserem Gleichniss entspricht dieser Voraussetzung eine vollkommene Constanz des Wasserzuflusses.

In diesem Falle wird offenbar die Zahl der Athemzüge wachsen, jeder einzelne aber schwächer werden müssen. Wenn aber der Widerstand noch geringer wird, so muss ein stetiger Uebergang der Reizung auf die Muskeln, eine tetanische Contraction erfolgen. Wie stark diese Contraction ist, hängt natürlich ab von dem Grade der vorhandenen Reizung, d. h. von dem bestehenden Sauerstoffgehalt des Blutes. Sie müsste vollkommen stetig sein, d. h. in gleicher Stärke so lange dauern, als die Reizung besteht, wenn nicht die Ermüdung des Nerven dies verhinderte.

Zwischen diesen beiden Fällen wird noch ein dritter liegen, welchen wir oft genug zu beobachten Gelegenheit haben. Wenn bei einer bestimmten Grösse der Reizung der Widerstand plötzlich stark vermindert wird, dann muss zuerst eine sehr starke Entladung des vorhandenen Reizes, eine sehr mächtige Muskelcontraction eintreten, welcher dann eine schwache, stetige oder auch rhythmische Thätigkeit nachfolgt. Dieser Fall tritt ein, wenn nach Durchschneidung beider Vagi plötzlich diese Nerven sehr stark gereizt werden. Dergleichen Fälle hat, wie man sich erinnern wird, besonders SCHIFF beobachtet.

Bei diesem Ueberblick über die einzelnen Fälle haben wir der Einfachheit wegen angenommen, dass es nur einen einzigen Respirationsmuskel gebe. In der That setzen wir oben statt „Muskelzusammenziehung" überall „Zwerchfellszusammenziehung", so sind die Auseinandersetzungen mit den Thatsachen vollkommen im Einklang. Nun ist aber die Athmung nicht so einfach, da viele Muskeln daran Theil nehmen, und es wird nöthig werden, auf diesen Punct noch etwas näher einzugehen, und zu untersuchen, wie diese Verhältnisse auf unsere Grundanschauung sich zurückführen lassen.

Aus den Untersuchungen TRAUBE's wissen wir, dass bei allmählich wachsender Dyspnoe immer mehr und mehr Muskeln in Thätigkeit gerathen und zwar stets in einer ganz bestimmten Reihenfolge: Zwerchfell, Rippenheber, Scalenus, Serratus posticus. Dies lässt sich nach unserer Anschauung nur darauf zurückführen, dass die Nerven der betreffenden Muskeln in der angegebenen Reihenfolge immer schwerer und schwerer erregbar seien. Wächst bei gleichbleibender Stärke des Widerstandes die Reizung der Medulla oblongata, so müssen, da jetzt jedesmal ein grösserer Reiz ausgeübt wird, die Muskeln nach und nach in der angegebenen Reihenfolge in Thätigkeit gerathen; dies ist in den dyspnoëtischen Zuständen der Fall. Wächst dagegen mit gleichbleibender Reizstärke der Widerstand, so müssen mit gleichzeitiger Abnahme der Athemfrequenz

dieselben Muskeln in der nämlichen Reihenfolge in Thätigkeit gerathen. Dies tritt ein, wenn beide Vagi durchschnitten werden. Werden nun die Vagi erregt, so werden die Athmungen häufiger, und jene Muskeln gerathen in umgekehrter Reihenfolge wieder ausser Thätigkeit. Wird dann die Vagusreizung noch mehr verstärkt, also der Widerstand noch mehr verringert, so wird zuerst das Zwerchfell in stetigen Tetanus verfallen, von den anderen Muskeln aber einer oder mehre, je nach dem Grade der bestehenden Reizung durch das Blut. Auch ist klar, dass zuweilen ein Muskel in Contraction gerathen kann, welcher vor der Reizung unthätig war; denn bei der plötzlichen Verringerung des Widerstandes wird sich im ersten Augenblicke der grösste Theil der vorhandenen Reizung auf einmal in einer sehr heftigen Muskelcontraction entladen, welche stärker sein muss, als die vorher bestehenden, welche also auch auf eine grössere Zahl von Muskeln sich erstrecken kann. Aber diese Contraction wird immer nur eine kurzdauernde sein, da die vorhandene Reizung sich bald erschöpft, und die anhaltende stetige Contraction wird immer schwächer sein müssen, als die vorher dagewesenen Zusammenziehungen der gleichen Muskeln, da sie nur bedingt wird von der sich gleichbleibenden und wegen des verringerten Widerstandes sich stetig abgleichenden Blutreizung.

Bei allen diesen Betrachtungen ist vorausgesetzt, dass durch die Aenderungen der Athembewegung in dem Gasgehalt des Blutes keine Aenderung bedingt ist. Ist dies jedoch nicht der Fall, also in allen den Versuchen, wo keine künstliche Athmung unterhalten wird, dann muss die Aenderung des Gasgehaltes im Blute die Verhältnisse etwas modificiren. So muss also z. B. bei der durch einen vollständigen Stillstand der Athmung bedingten Abnahme des Sauerstoffes die Reizung wachsen, und dadurch kann es kommen, dass die Zusammenziehung der Muskeln länger anhält, als sonst der Fall gewesen wäre, oder dass noch neue Muskeln in Thätigkeit gerathen, welche ursprünglich unerregt blieben. Hierher gehören z. B.

die Fälle, welche im ersten Abschnitt des achten Capitels mitgetheilt wurden, wo ursprünglich der Thorax ruhig blieb, und das Zwerchfell allein in stetige Zusammenziehung gerieth, später aber kleine, dann immer stärker werdende Contractionen der Rippenheber sich hinzugesellten.

Diese Betrachtungen bezogen sich alle nur auf die Wirkung der inspiratorischen Muskeln und liessen die Exspiration ganz ausser Acht. Wir wollen nun sehen, wie weit unsere Anschauungsweise ausreicht, auch diese zu erklären.

Die einfachste und häufigste Athmung ist allerdings die, wo nur die Inspiration durch Muskelzusammenziehung zu Stande kommt, die Exspiration aber ganz elastischen Kräften überlassen ist. Hier haben wir also nur noch eine Erklärung zu suchen weshalb bei dyspnoëtischen Zuständen vorher unthätige Muskeln in rhythmischer Abwechselung mit den anderen in Action gerathen.

Wir müssen uns zu diesem Zwecke entscheiden, ob wir für die Exspiration ein besonderes Centrum annehmen wollen, oder nur ein Centrum für In- und Exspiration. Geschieht das erstere, so müssen wir eine Verbindung eigenthümlicher Art zwischen beiden Centren annehmen, vermöge deren sie nur abwechselnd wirken können. Geschieht das andere, so müssen wir annehmen, dass die Widerstände für beide getrennt sind, und dass daher jede Verstärkung des einen Widerstandes eine Vermehrung der nach dem anderen gelangenden Reizung zur Folge habe und umgekehrt. In der That, nehmen wir an, das Respirationscentrum stehe mit zwei der hypothetischen Widerstandseinrichtungen in Verbindung, deren eine in die Leitung zu den inspiratorischen, die andere in die Leitung zu den exspiratorischen Nerven eingeschaltet ist, so können wir uns denken, dass die Kraft dieser Widerstände mehr oder weniger verschieden sei. Ist der Unterschied gross (und zwar nehmen wir den Widerstand für die Inspiratoren als den kleineren an), so wird die Reizung niemals den Grad erreichen, um den exspiratorischen Widerstand zu überwinden. Denn schon viel früher

wird der inspiratorische Widerstand überwunden werden und der Abfluss der Reizung nach den Inspiratoren hin, wird es nie zu einer Reizung der Exspiratoren kommen lassen. Dies ist der Fall, wie er bei Katzen, Hunden, kurz bei allen den Thieren gedacht werden muss, welche bei der normalen Exspiration keine Muskeln gebrauchen. Ist der Unterschied aber gering (jedoch noch immer in demselben Sinne vorhanden), so wird sich die Reizung zwischen beiden Muskeln im umgekehrten Verhältniss ihrer Widerstände vertheilen. Es ist aber leicht einzusehen, dass gerade, wenn der eine Widerstand überwunden wird, der Druck auf den anderen am geringsten sein wird, und umgekehrt. In Folge dessen wird sich also sehr bald eine Abwechselung in der Ueberwindung beider herstellen, so dass immer die Exspiration in die Inspirationspause fallen muss und umgekehrt.

Was wird ein solcher Mechanismus zeigen, wenn die Reizung verstärkt wird? Die Inspiration wird häufiger und stärker werden; aber auch die Exspiration wird verstärkt, wo sie schon bestand, und wo noch gar keine active Exspiration vorhanden war, da kann sie auftreten. Ganz das sehen wir aber bei der Dyspnoe.

Nicht schwer ist zu erkennen, was erfolgen muss, wenn der inspiratorische Widerstand verstärkt wird, z. B. nach Durchschneidung beider Vagi. Mit der Abnahme der Athmungsfrequenz muss jede einzelne Athmung stärker werden. Aber nicht blos die Inspiration, auch die Exspiration muss wachsen, und wo noch gar keine bestand, muss active Exspiration auftreten, da jetzt der Unterschied der beiden Widerstände viel geringer geworden ist.

Lassen wir aber den inspiratorischen Widerstand kleiner werden, so wird die Inspiration häufiger und zuletzt stetig werden, die Exspiration aber wird, wo sie bestand, schwächer und hört zuletzt ganz auf, wie es ja auch bei der Vagusreizung sich gezeigt hat.

Wir sehen also, dass alle bei Vagusreizung und Vagusdurchschneidung auftretenden so mannichfaltigen und anscheinend sich so widersprechenden Erscheinungen einfach erklärt werden können unter der Voraussetzung, dass dieser Nerv in Beziehung stehe zu einem in der Medulla oblongata vorhandenen Widerstande für den Uebergang der Erregung von den ursprünglich durch das Blut gereizten Ganglien zu den Inspirationsnerven, der Art dass durch die Erregung des Vagus jener Widerstand verkleinert wird. Eine solche Erregung in gewissem Grade findet im normalen Leben stets statt, wodurch sich die Veränderungen der Athmung nach Vagusdurchschneidung erklären. Es liegt nun nahe, zu untersuchen, ob nicht der Einfluss des Laryngeus superior auf die Athmung in einer ganz ähnlichen Weise sich auffassen lasse.

Man kommt zunächst leicht auf den Gedanken, dass das Verhältniss des Laryngeus superior zur Exspiration ganz dasselbe sei, wie das des Vagus zur Inspiration. Diese Annahme würde in der That einen Theil der Thatsachen ganz gut erklären, welche wir von diesem Nerven kennen gelernt haben, sie reicht aber nicht aus, alle zu erklären.

Zunächst würde aus dieser Annahme folgen, dass die Unterdrückung der inspiratorischen Thätigkeit immer nur auf Kosten activer exspiratorischer Thätigkeit stattfinde. Denn wenn die Erregung des Laryngeus den Uebergang der Erregung auf die Exspirationsmuskeln erleichterte und nur dadurch die rhythmische Action der inspiratorischen Muskeln zum Verschwinden brächte, gerade wie die Erregung des Vagus den Uebergang der Erregung auf die inspiratorischen Muskeln erleichtert und dadurch die Exspiratoren erschlaffen macht, dann müsste in der That bei der Erschlaffung des Zwerchfells während der Laryngeusreizung stets eine verstärkte Zusammenziehung exspiratorischer Muskeln zu beobachten sein. Der Versuch zeigt jedoch das Gegentheil. Es hat aber gar keinen Sinn, von einer Unterdrückung der Inspiration durch ein Exspirationsbestreben zu

reden, wenn dieses Exspirationsbestreben sich nicht durch Muskelaction zu erkennen giebt. Dies bleibt richtig, auch wenn wir ganz von unseren Vorstellungen über die Athmung absehen. Man mag sich das Zustandekommen der Athembewegungen denken wie man wolle, die Ansicht muss jedenfalls fallen, dass der rhythmische Character der Inspiration, der Umstand, dass die Inspiration nicht tetanisch sei, verursacht werde dadurch, dass die Inspiration von einem Exspirationsbestreben zurückgedrängt werde. Diese Ansicht muss fallen der unzweifelhaften Thatsache gegenüber, dass in den meisten Fällen die Exspiration ganz passiv ist, nichts als ein Nachlassen der inspiratorischen Muskelwirkung. Dieses Nachlassen der Inspiration kann doch unmöglich die Ursache sein, dass die Inspiration nachlässt.

Joh. Müller hat das Ungenügende einer solchen Erklärung schon gefühlt, obgleich er eine active Exspiration annimmt. Dieser letztere Umstand allein verhindert ihn, auch für die Athembewegung die Erklärung anzunehmen, welche er selbst für die rhythmischen Bewegungen im Gebiete des Sympathicus giebt, nämlich die Annahme eines Widerstandes, welcher nur durch allmähliche Ansammlung des Reizes überwunden werden kann. Deshalb sieht er sich schliesslich genöthigt, ganz auf eine Erklärung zu verzichten, und eine nicht weiter definirbare Einrichtung in der Medulla oblongata anzunehmen, welche „das beständig sich entwickelnde Nervenprincip, abwechselnd in der einen und anderen Richtung entladet.“[1])

In neuerer Zeit hat Budge[2]) wieder eine derartige Theorie vorgetragen und durch allerlei Gründe zu stützen gesucht. Nach ihm giebt es zwei respiratorische Centra; das eine, der noeud vital von Flourens, erregt die Inspiration, das andere die Exspiration. Die Inspirationen würden in Folge der Wirkung des ersteren Centralorgans stetig sein, wenn nicht Wider-

[1]) Handbuch der Physiologie II. 78.

[2]) Virch. Arch. XVI. 445 ff.

stände vorhanden wären, welche sie unterbrächen. Diese Widerstände sind die Ermüdung der Muskeln und Nerven, die Elasticität der Muskeln, und endlich die antagonistische Wirkung des Ausathmungsapparates. Der letztere werde vom Vagus angeregt. Diese Verhältnisse seien genau dieselben, wie bei der Pupille. Hier bestehen auch zwei Centra: das stetig wirkende Erweiterungscentrum des Sympathicus (vergleichbar dem noeud vital) und das reflectorisch vom Opticus erregte Verengerungscentrum, welches in den Vierhügeln gelegen ist, (vergleichbar dem „Vaguscentrum").

Sehen wir davon ab, dass das exspiratorische Centrum hier in eine so innige Beziehung zum Vagus gesetzt wird, dass es nur von diesem erregt werden soll, der Art, dass die Exspiration nach Durchschneidung beider Vagi „rein passiv" wird, eine Annahme, welche natürlich fallen muss, da die Grundlagen falsch sind, worauf sie gestützt ist, so bleibt nur übrig zu betrachten, wie nach BUDGE durch das Gegeneinanderwirken der beiden Centra die rhythmische Athmung zu Stande kommt. In dieser Beziehung scheint mir nun zunächst der Vergleich mit der Pupille sehr unglücklich gewählt. Denn hier haben wir in der That zwei antagonistische Muskeln, die von verschiedenen Centren aus erregt werden; aber das Resultat ist keine rhythmische Action, sondern eine mittlere Weite der Pupille, grösser oder geringer, je nach der Stärke der beiderseitigen Erregungen. Und ebenso würde, wenn ein Inspirationscentrum und ein Exspirationscentrum gleichzeitig thätig wären, daraus nicht eine rhythmische Erweiterung und Verengerung des Thorax folgen, sondern eine mittlere Stellung, entsprechend den Kräften der beiden antagonistischen Muskelsysteme. Auch die Elasticität und Ermüdung der Muskeln führt hier nicht zum Ziel, da sie nur die Verkürzung der Muskeln verringern, aber nicht rhythmisch machen kann. Es bleibt also Nichts übrig, als ein Aufeinanderwirken der beiden Centra selbst anzunehmen, was BUDGE auch wol gemeint hat. Um aber aus einem solchen Gegeneinander-

wirken eine rhythmische Action abzuleiten, muss wenigstens eines der beiden Centren selbst rhythmisch wirken. Dies soll nun nach BUDGE das Exspirationscentrum sein, welches von den Vagis aus rhythmisch erregt wird u. z. durch die Kohlensäure in den Lungen. Nun ist aber die Athmung auch nach der Vagusdurchschneidung noch rhythmisch, und die Exspiration ist nicht nur nicht „ganz passiv," wie BUDGE meint, sondern sogar verstärkt. Also ist die ganze Erklärung der Rhythmik durch das Gegeneinanderwirken zweier Centra unhaltbar, und wir müssen, wenn wir überhaupt zwei Centra annehmen wollen, für jedes einen Mechanismus ersinnen, welcher die Wirkung rhythmisch macht.

Ich will hier noch gleich einer anderen Theorie erwähnen, welche SCHIFF[1]) aufstellt. Danach soll der Vagus die Inspiration anregen. Sind beide Vagi durchschnitten, so wächst der Reiz, welcher sonst durch Vermittelung der Vagi wirkte, bis er durch andere, schwerer erregbare Nerven die Inspiration auslöst. Daher die Verminderung der Athemfrequenz und, da jede Reflexbewegung eine mit dem erregenden Nerven wechselnde Form hat, der veränderte Modus der Athmung. SCHIFF sagt nicht, welches der Reiz ist, den er sich denkt, auch nicht, warum die Athmung rhythmisch ist, vielleicht denkt er sich als Reiz die Kohlensäure, welche eben durch die Einathmung vermindert wird. Die anderen Nerven, welche den Vagus ersetzen, sind wahrscheinlich der Hypoglossus und der zweite Cervicalnerv, durch deren Reizung er ja ebenfalls Inspirationsstillstand erzielt haben will. Aber da SCHIFF selbst sagt, dass dies Alles nicht seine Meinung sei, sondern nur ein „mögliches Theorem," so lohnt es nicht, weiter darauf einzugehen. Wenigstens fühle ich keinen Beruf dazu, dies „Theorem" zu beweisen, so geistreich es auch ersonnen ist.

---

[1]) Lehrbuch der Physiologie I. 413 f.

Wir sehen also, dass jeder Versuch, die Rhythmik der Athembewegungen aus einem Gegeneinanderwirken inspiratorischer und exspiratorischer Centren zu erklären, an der Thatsache scheitert, dass es einen sehr verbreiteten Respirationsmodus giebt, bei welchem nur die Inspiration activ, durch Muskelwirkung, geschieht. Dadurch wird es aber auch unmöglich, die Einwirkung des Laryngeus superior auf die Athmung zurückführen zu wollen auf eine Anregung des hypothetischen exspiratorischen Centrum, oder auf eine Erleichterung des Ueberganges der Erregung auf die exspiratorischen Nerven, gerade so wie wir die Wirkung des Vagus zurückgeführt haben auf eine Erleichterung des Ueberganges der Reizung auf die inspiratorischen Nerven. Dieser Versuch scheitert eben auch an der Thatsache, dass es Fälle von Laryngeusreizung giebt, wo das Zwerchfell vollkommen erschlafft ist, und sich kein einziger exspiratorischer Muskel zusammenzieht. Hier kann doch unmöglich die Erschlaffung des Zwerchfells bedingt sein durch den erleichterten Uebergang der Reizung auf exspiratorische Muskeln, da diese eben nicht gereizt werden. Es bleibt also Nichts übrig, als anzunehmen, dass das Aufhören der rhythmischen Innervation der Inspiratoren bei Laryngeusreizung bewirkt werde durch einen erschwerten Uebergang der Reizung auf die inspiratorischen Nerven. Während also die Erfolge der Vagusreizung sich darstellen durch eine Verringerung des im respiratorischen Centralorgan angenommenen Widerstandes, müssen wir annehmen, dass dieser Widerstand durch Laryngeusreizung vermehrt werde. Dass diese Auffassung genüge, um alle bei Laryngeusreizung auftretenden Erscheinungen zu erklären, das will ich jetzt ganz kurz darzuthun versuchen.

Zunächst ist klar, dass eine schwache Erregung des Laryngeus die Anzahl der Respirationen vermindern, aber die Intensität jeder einzelnen vermehren muss, eine Thatsache, welche sich sogleich bei den ersten Beobachtungen am Zwerchfell uns aufdrängte und zu deren Belegung ich nur auf Fig. 2,

Taf. II zu verweisen brauche. Dieselbe Erscheinung sehen wir am Thorax, wenn derselbe schon vor der Reizung in Bewegung war. In der That, wenn das respiratorische Centralorgan fortwährend vom Blute gereizt wird, wenn aber der Uebergang dieser Reizung durch Vermehrung des Widerstandes erschwert ist, so muss bei endlicher Ueberwindung dieses Widerstandes sich die ganze angesammelte Reizung auf einmal entladen und demgemäss eine stärkere Wirkung hervorbringen. Die Summe der in der Zeiteinheit ausgeübten Wirkung muss ungeändert bleiben, so lange der vom Blute bewirkte Reiz ungeändert bleibt.

Ferner ist klar, dass bei verstärkter Erregung ein gänzliches Aufhören der inspiratorischen Bewegungen eintreten muss, dass dieses Erschlaffen der betreffenden Muskeln aber nur begrenzte Dauer haben kann. Denn während der Erregung wird die fortdauernde Reizung durch das Blut, welche sich nicht abgleichen kann, immer mächtiger werden, bis sie endlich den Widerstand zu überwinden vermag. Und die solchergestalt noch während der Erregung des Laryngeus oder, wenn diese rechtzeitig unterbrochen wird, nach derselben eintretende Inspiration muss nothwendiger Weise sehr mächtig sein, und auch die folgenden werden verstärkt erscheinen müssen, und sich erst allmählich der vor der Reizung bestandenen Form nähern. Ich brauche in dieser Beziehung nur auf die Taf. II mitgetheilten Curven zu verweisen. Ebenso ist es selbstverständlich, warum nach einer solchen Laryngeusreizung bei Kaninchen auch der vorher ganz ruhige Thorax sich an den ersten Inspirationen betheiligt, und erst ganz allmählich wieder zu seiner früheren Ruhe gelangt.

Endlich kann man aus dieser Vorstellung auch ableiten, warum bei noch mehr verstärkter Reizung zu der vollständigen Erschlaffung der Inspiratoren sich noch eine gleichzeitige Contraction exspiratorischer Muskeln hinzugesellen kann. Die sich anhäufende Reizung des Respirationscentrum wird dann nämlich den grösseren Widerstand nach der Seite der Exspiratoren hin eher durchbrechen, als den so sehr verstärkten nach der Seite

der Inspiratoren. Doch kann man auch, ohne das Princip unserer Anschauung zu gefährden, annehmen, dass neben der von uns angenommenen Widerstandsvermehrung noch eine einfache reflectorische Erregung exspiratorischer Nerven (durch andere Fasern des Laryngeus) stattfinde.

Ich darf nicht unterlassen, noch auf eine Erscheinung aufmerksam zu machen, welche mit unserer Erklärung im Widerspruch zu stehen scheint, das ist das Fortdauern kleiner respiratorischer Bewegungen des Thorax bei völliger Erschlaffung des Zwerchfells. Fasst man diese Bewegungen als inspiratorische auf, so sind sie nach unserer Auffassung im Widerspruch mit den dyspnoëtischen Erscheinungen und den Schlüssen, zu welchen wir durch die Vagusdurchschneidung und Vagusreizung gelangten. Denn diese haben uns zu der Annahme geführt, dass der Widerstand, welcher sich der Erregung der Thoraxbewegungen entgegenstellt, grösser sei, als der für die Zwerchfellsbewegungen. Danach sollten wir erwarten, dass bei Laryngeusreizung die Thoraxbewegungen eher unterdrückt werden müssen, als die Bewegungen des Zwerchfells. Wir haben nun auch wirklich im zehnten Capitel gesehen, dass dem so ist, und dass erst bei noch stärkerer Reizung jene kleinen Bewegungen des Thorax auftreten. Dadurch wird es wahrscheinlich, dass sie als abortive exspiratorische Bewegungen aufzufassen seien. Sie bilden dann den naturgemässen Uebergang zu der vollständigen Contraction exspiratorischer Muskeln, welche bei ganz starker Reizung auftritt. In diesem Falle wäre kein Widerspruch mit unserer Auffassung vorhanden.

Schliesslich will ich noch darauf hinweisen, wie es ganz in Uebereinstimmung mit dieser ist, wenn die Laryngeusreizung nach Durchschneidung beider Vagi weniger in die Augen fallende Erfolge hat. Der von uns angenommene Widerstand ist dann eben schon so gross, dass er nicht mehr viel vergrössert werden kann.

Fassen wir nun das Gesammtresultat unserer Betrachtungen zusammen, so kommen wir zu folgenden Sätzen:

Die Athembewegungen werden erregt durch den Reiz des Blutes auf das respiratorische Centralorgan. Der Uebergang dieser Erregung auf die betreffenden Nerven und Muskeln findet einen Widerstand, durch welchen die stetige Erregung in eine rhythmische Action umgesetzt wird. Dieser Widerstand wird vermindert durch die Einwirkung des N. vagus, vermehrt durch die Einwirkung des N. laryngeus superior. Der Grad der Thätigkeit des Centralorgans ist abhängig von dem Sauerstoffgehalt des Blutes, die Vertheilung dieser Thätigkeit auf einzelne Respirationen (und demgemäss die Zahl und Tiefe derselben bei gleichbleibender Erregung) von der Wirkung jener Nerven.

Es liegt nahe, die so gewonnenen Anschauungen zu übertragen auf andere Fälle rhythmischer Thätigkeit und zu sehen, wie weit sie auch bei diesen Stich halten. Nun haben die Bewegungen des Herzens offenbar die grösste Aehnlichkeit mit den Athembewegungen. Hier wie dort haben wir eine rhythmische Abwechselung zwischen Zusammenziehung und Ruhe von Muskeln, nur dass hier nicht zwei antagonistische Muskelsysteme bestehen, wie bei der Athmung, sondern nur zwei Abtheilungen eines und desselben, in gleichem Sinne wirkenden Systemes, der Vorkammern und Kammern, etwa zu vergleichen dem Zwerchfell und den Rippenhebern, deren Zusammenziehungen ja auch nicht ganz in der Zeit zusammenfallen. Sehen wir von

diesen Unterschieden ab, betrachten wir nur auf der einen Seite die Musculatur des Ventrikels, auf der anderen das Zwerchfell (und diese Beschränkung ist gestattet, da wir ja sehen, dass sehr oft gar keine active Exspiration besteht), so liegt die Aehnlichkeit auf der Hand. Wir werden daher annehmen können, dass auch das Centralorgan des Herzens stetig erregt werde, dass aber diese Erregung durch einen zwischen Centralorgan und Muskel eingeschobenen Widerstand in eine rhythmische Action umgesetzt werde. Jenes Centralorgan ist man gewohnt in den Ganglien des Herzens zu suchen, weil auch das ausgeschnittene Herz in regelmässigem Rhythmus zu pulsiren fortfährt. Aber während wir für das respiratorische Centralorgan den Erreger in dem Gasgehalte des Blutes nachzuweisen vermochten, ist dies für das Herz noch nicht möglich. Zwar hat man oft das Blut als Reiz des Herzens ansehen wollen, aber dem widerspricht der Umstand, dass auch das ganz blutleere Herz noch fortpulsirt. Welches aber auch der Erreger sei, die Aehnlichkeit der Erscheinungen zwingt uns jedenfalls, die Annahme eines Widerstandes als Ursache der Rhythmik auch auf das Herz zu übertragen. Daraus ergiebt sich von selbst, dass die Wirkung der zum Herzen gehenden Fasern des Vagus aufzufassen sind, wie die Wirkung des Laryngeus in Bezug auf das Zwerchfell, nämlich als eine Vermehrung jenes Widerstandes. Wir gelangen so zu einer Auffassung der sogenannten „Hemmungsnerven", welche ganz im Einklange ist mit der schon von Ed. Weber und Ludwig aufgestellten Ansicht, dass der Vagus nicht auf die Muskelfasern des Herzens wirke, sondern auf das Centralorgan seiner Bewegungen.

Diese Analogie der Erscheinungen, diese Aehnlichkeit meiner Auffassung mit der Weber-Ludwig'schen (und die meinige ist ja Nichts als die etwas mehr ausgeführte jener Forscher) bestimmte mich schon in meinen ersten Mittheilungen an die Versammlung deutscher Naturforscher in Königsberg und an die Pariser Academie, den Laryngeus superior als „Hemmungsnerv

des Zwerchfells“ zu bezeichnen. (Ich sprach absichtlich nur vom Zwerchfell, weil über die anderen Athemmuskeln meine Untersuchungen damals noch nicht abgeschlossen waren.) Zugleich wies ich darauf hin, wie der Umstand, dass der Laryngeus superior zur Medulla oblongata sich begebe, dem nachweislichen Centralorgan des Zwerchfells, die von Weber und Ludwig gegebene Deutung des analogen Phänomens wesentlich stütze [1]).

Ich musste darauf gefasst sein, durch diese Bemerkungen eine Entgegnung von Seiten Schiff's herbeizuführen, und diese hat in der That nicht lange auf sich warten lassen. Schon wenige Monate nach meiner Mittheilung an die Pariser Academie übergab Schiff derselben eine Kritik meiner Bemerkungen, welche seitdem, im Thatsächlichen fast unverändert, auch in Moleschott's Untersuchungen abgedruckt ist [2]). An die letztere Bearbeitung werde ich mich hier vorzugsweise halten.

Nachdem Schiff kurz meine Mittheilung wiedergegeben, fährt er folgendermaassen fort:

„Die centrale Natur der Nervenganglien, die Existenz wahrer Hemmungsnerven, zwei Lehrsätze, gegen welche sich bisher die exacte Experimentalphysiologie nur negirend verhalten konnte, wir sehen sie hier zum ersten Male, angeblich auf Versuche gestützt, in eine solidarische Verbindung gebracht.“

Ich muss gestehen, dass ich diese Zeilen nicht verstehe. Schiff wird doch schwerlich für sich und die Wenigen, welche mit ihm die „centrale Natur der Nervenganglien und die Existenz wahrer Hemmungsnerven“ bestreiten, allein den Namen „exacter Experimentalphysiologen“ in Anspruch nehmen wollen! Dass die Ursache der Herzbewegung in diesem Organ selbst gelegen sein muss, liegt auf der Hand, da das ausgeschnittene

---

[1]) Amtl. Bericht über die 35. Versamml. deutscher Naturf. u. Aerzte zu Königsberg i. Pr. S. 124. — Comptes rendus LII. 754.

[2]) Comptes rendus LIII. 285. 330. — Molesch. Unters. VIII. 312.

und blutleere Herz, ohne nachweisbare äussere Veranlassung fortpulsirt. Da nun Muskeln und peripherische Nerven in sich nicht die Ursuche der Erregung zu erzeugen vermögen, da dies aber nachweislich in den durch ihren Ganglienreichthum ausgezeichneten Centralorganen geschieht, so hat man vernünftiger Weise geschlossen, dass die im Herzen sich findenden Ganglien für die Herzbewegung dieselbe Rolle spielen, wie die Ganglien der Centralorgane für die übrigen Bewegungen. Das ist zum Mindesten ebenso exact, wie irgend einer von den Schlüssen, welche SCHIFF jemals gemacht hat. Die Bezeichnung des Vagus als „Hemmungsnerv" ist und sollte Nichts Anderes sein, als eine Bezeichnung für ein Verhältniss, dessen Erklärung man dann, so gut es bei der jetzigen Kenntniss des Nervenmechanismus ging, versuchte. Und was in aller Welt meint SCHIFF mit dem „angeblich auf Versuche gestützt?" Habe ich etwa andere Versuche zu meinen Schlüssen benutzt, als die ich wirklich angestellt habe, und die SCHIFF, wie er selbst sogleich sagt, bestätigt hat?

SCHIFF bestätigt nun zunächst meine Angaben über den Laryngeus superior, mit Hinzufügung jener schon erwähnten Beobachtung über den Thorax. Für diese Bestätigung bin ich ihm äusserst dankbar, denn da die Versuche immerhin nicht zu den leichtesten gehören, so hätten vielleicht, wenn ein weniger geschickter Experimenteur die Sache angegriffen hätte, bei etwaigem Missglücken Zweifel entstehen können, welche jetzt, nachdem sich eine solche Autorität öffentlich dafür ausgesprochen, schwerer möglich sind. Er meint aber, dass meine Schlüsse aus diesen Thatsachen selbst dann „sehr kühn" sein würden, wenn wirklich eine solche Analogie zwischen dem Laryngeus und den bisher so genannten Hemmungsnerven bestände, als ich annehme. Dies sei aber gar nicht der Fall. Vielmehr beständen zwei Reihen von Differenzen, welche die von mir angenommene Analogie so sehr zu erschüttern im Stande seien,

dass man viel eher zu den entgegengesetzen Schlüssen gelangen dürfte.

Die erste dieser Differenzen ist, dass jede noch so schwache Reizung des Laryngeus, wenn sie überhaupt noch wirke, die Athmung verlangsame, wogegen eine genügend schwache Reizung des Vagus Vermehrung des Herzschlages herbeiführe, wie noch neuerdings MOLESCHOTT in ausgedehntem Maasse bestätigt habe.

Das Erstere ist ganz richtig. Wäre es anders, so hätte ich gewiss nicht versäumt, es zu sagen. Es handelt sich also nur um das Zweite.

MOLESCHOTT hat seine Erfahrungen in drei Abhandlungen niedergelegt, welche in seinen „Untersuchungen" enthalten sind[1]). Er gelangt zu einem Schluss, welcher noch über SCHIFF hinausgeht, indem nach ihm nicht nur die Vagi, sondern auch die Sympathici bei gelinder Erregung die Häufigkeit des Herzschlages vermehren, bei stärkerer vermindern oder das Herz ganz zum Stilstand bringen sollen. Die Versuche sind mit so dankenswerther Genauigkeit mitgetheilt, dass es vollständig möglich ist, über ihren Werth ein Urtheil zu fällen.

MOLESCHOTT bedient sich zur Erregung des Nerven eines Magnetelectromotor, welcher von einem Daniell oder Grove erregt wird. Zur Abstufung dient die Verschiebung der secundären Rolle gegen die primäre und ausserdem das Einschalten verschiedener Widerstände als Nebenschliessung zum Nerven, so dass die Ströme der secundären Rolle sich zwischen diesem und jenen Widerständen spalten mussten. Die Widerstände dieser Nebenschliessung wechselten zwischen 1 und 10000 Meter SIEMENS'sches Normalmaass (1 Meter chemisch reines Quecksilber von 1□mm Querschnitt). Die Abstufung der Ströme war auf diese Weise allerdings sehr fein. Um einen Begriff zu bekommen, mit was für Strömen MOLESCHOTT arbeitete, wollen

[1]) MOLESCH. Unters. VII. 401—468. VIII. 36—51. 52—120.

wir folgenden Ueberschlag machen: In einem Versuch erhielt Moleschott eine Zunahme von 9 Schlägen in der Minute bei Reizung mit einem Rollenabstand von 28 Cm. (oder nach unserer Bezeichnungsweise 36,5 Cm.), 1 Daniell und 25 Meter Nebenschliessung. Die Länge der Nervenstrecke betrug 10mm. Der Widerstand von 10mm eines Kaninchenvagus war nach einer Messung, welche ich gemacht habe, 374 Meilen Telegraphendraht. Nun ist aber eine Meile Telegraphendraht, wie ich durch gütige Mittheilung des Herrn Dr. Siemens weiss, gleich 64 Meter Siemens'sches Normalmaass. Es ging also von den Strömen der secundären Spirale, die doch gewiss nicht sehr stark waren, durch den Nerven etwa der 960ste Theil. Ist es wol denkbar, dass solche Ströme noch erregend auf den Nerven wirken sollen? Aber noch mehr. Es kommen sogar Fälle vor, wo die Nebenschliessung aus zwei dicken Metallschienen bestand, wo also nach physicalischen Begriffen gar kein Strom durch den Nerven ging, und wo dennoch eine Wirkung gesehen wurde.

Und welcher Art waren diese Wirkungen? Nach Moleschott stets Vermehrung. Um aber dieses Resultat zu erhalten, muss man nach Moleschott mindestens eine Minute lang reizen. Nun zählt Moleschott die Pulse so, dass er jede Minute in 4 Theile theilt, und das erste Viertel der einen mit dem ersten Viertel der zweiten vergleicht u. s. w., z. B.

Zeit	Zustand des Nerven	1stes Viertel der Minute	2tes	3tes	4tes
11h 30′	Ruhe	42½	86½	133	179
11h 31′	Reizung	43	89	138	188
11h 32′	Reizung	47	95	143½	193

Wir sehen also eine deutliche Vermehrung der Herzschläge, welche in der ersten Minute 9, und bei fortgesetzter Reizung in der zweiten 14 Schläge gegen die Ruhe beträgt. Nun könnte aber jemand meinen, dass diese Art der Zählung willkürlich sei, dass vielmehr die letzte Viertelminute vor und die erste während der Reizung vorzugsweise vergleichbar seien. Rechnet man auf diese Weise die Moleschott'schen Zahlen um, so erhält man z. B. aus der Tabelle, welche wir hier gerade benutzt haben (Tabelle V. der ersten Arbeit, Band VII. S. 415) folgende Zahlen:

Ruhe	46	46	47	45
Reizung	43	42	42	45

Man erhält also drei Mal eine deutliche Verminderung und ein Mal gar keine Aenderung, während Moleschott alle diese Fälle als deutliche Vermehrung berechnet. Man darf aber nicht glauben, dass ich diese Tabelle gerade ausgewählt hätte. Jede beliebige andere verhält sich ähnlich, und wer sich die Mühe nehmen will, die vielen Subtractionen auszuführen, wird finden, dass wenigstens die Hälfte der Moleschott'schen Zahlen sich so verhält, wie die hier mitgetheilte Probe, und zuweilen in noch viel auffälligerem Grade.

Wird man also aus diesen Versuchen schliessen dürfen, dass selbst so äusserst schwache Erregungen des Vagus die Pulsfrequenz vermindern? Ich glaube kaum. Ich für meine Person schliesse aus ihnen nur, dass sie Nichts beweisen und Nichts widerlegen. Glücklicher Weise bin ich der Mühe überhoben, diese Frage hier noch weiter erörtern zu müssen, indem auch mein Freund v. Bezold in Jena durch eine längere Versuchsreihe die Thatsache von Neuem bestätigt hat, dass jede Erregung des Vagus, welche überhaupt zu wirken vermag, die

Pulsfrequenz vermindert.[1]) Es kann hier nicht meine Aufgabe sein, zu untersuchen, woher MOLESCHOTT zu seinen Resultaten kam. Nur im Vorbeigehen will ich darauf hinweisen, dass ein grosser Theil der MOLESCHOTT'schen Versuche dadurch complicirt ist, dass der Nerv undurchschnitten war. Da nun der Vagus (was freilich MOLESCHOTT leugnet) stetig innervirt wird und dadurch die Pulsfrequenz herabsetzt, so müssen natürlich Eingriffe, wie Austrocknung, Zerrung u. s. w., welche MOLESCHOTT alle als Reize betrachtet, welche aber auch die Leitung beeinflussen, bald diese bald jene Wirkung haben, so dass eine Deutung des jedesmaligen Erfolges unmöglich wird.

Kehren wir nun zu SCHIFF zurück! Die zweite Differenz zwischen dem Laryngeus und den übrigen Hemmungsnerven ist nach ihm die, dass der Laryngeus durch constante Ströme erregt werde, die anderen nicht. SCHIFF sieht darin einen Beweis, dass der Laryngeus ein centripetaler Nerv sei, nicht aber die andern, denn nur centripetale Nerven werden durch constante Ströme erregt. „Nous devons encore insister, sagt er in seiner ersten Mittheilung an die Pariser Academie, sur la méthode pour distinguer l'excitation motrice directe de l'excitation réflexe. Cette méthode, basée sur la différence de l'action physiologique des courants electriques, nous parait être généralement appliquable." Wahrlich eine grosse Entdeckung! Schade nur, dass sie schon seit drei Jahren allgemein als falsch erkannt ist.

Ich habe diese Stelle aus der französischen Arbeit hierher gesetzt, denn in der deutschen herrscht über denselben Punct ein eigenthümliches Dunkel, das ich kaum zu durchdringen vermag. Es heisst da erst, dass centripetale Nerven, welche Reflexe erregen oder Empfindungen vermitteln, durch den constanten Strom sowohl, als durch den unterbrochenen erregt werden. SCHIFF citirt mich da selbst als Gewährsmann, wahrscheinlich wegen meiner kleinen Mittheilnng über den electrischen Ge-

[1]) REICHERT's und DU BOIS-REYMOND's Arch. 1861. 143.

schmack. Der Laryngeus wird auch durch den constanten Strom erregt, was so sein muss, da es dabei nur auf die „Erweckung von Reflexen, d. h. auf eine gewisse Art der Erregung von Centraltheilen mittelst der sensibeln Nerven“ ankommt. Ich verstehe zwar nicht, wie man von „Reflex“ reden kann, wo sich kein Muskel zusammenzieht, sondern ein bewegter erschlafft, aber das mag so hingehen, obgleich es sich komisch ausnimmt, wenn SCHIFF kurz nachher über die „Verwirrung der Terminologie“ sich ereifert, wo es sich doch nur darum handelt, für einen bestimmten, sich von anderen unterscheidenden Vorgang auch einen bestimmten und bezeichnenden Namen zu gebrauchen. Wenn aber durch den Vagus ein constanter Strom in aufsteigender Richtung in Bezug auf die hypothetisch angenommenen Centra (also absteigend nach dem gewöhnlichen Sprachgebrauch) geschickt werde, so schlage das Herz häufiger. Nun dem widerspricht MOLESCHOTT geradezu und zwar hierin mit Recht. Auch v. BEZOLD hat gefunden; dass der Vagus unter denselben Bedingungen durch den constanten Strom erregt wird, wie irgend ein anderer Nerv, dass aber diese Erregung sich stets durch eine Abnahme der Pulsfrequenz bemerklich macht. Diejenigen aber, welche bei Durchleitung eines starken constanten Stromes durch die Vagi die Pulsfrequenz haben steigen sehen, hatten die Vagi nicht durchschnitten, was SCHIFF zu berücksichtigen vergisst. Der Laryngeus also, sagt SCHIFF, wirkt nicht auf die Athemmuskeln direct, sondern auf deren Centrum im Nervensystem. Als wenn *ich* das geleugnet hätte. Freilich habe ich mir nicht träumen lassen, dass diese höchst merkwürdige Thatsache mit Hülfe des constanten Stromes nachgewiesen werden könne, eine Art des Nachweises, nach der alle vorderen Spinalwurzeln reflectorisch auf ihre Muskeln wirken und sämmtliche Muskeln ganz voller Centralorgane stecken müssten.

„Wir betrachten diese analoge Wirkungsweise der beiden Ströme, des constanten und des schwankenden, als eine Eigenthümlichkeit, die allen nur durch Reflex thätigen Nerven

zukommt. In manchen Fällen träger Nervenleitung (vielleicht bei partieller Zerstörung der centralen grauen Substanz des Markes) kann hier sogar der constante Strom viel stärker wirken, als der unterbrochene und zugleich abwechselnde Inductionsstrom.

Wir glauben uns aber dadurch nicht berechtigt, auch den Satz umzudrehen und zu behaupten, dass überall, wo diese Gleichheit der Wirkung beider Ströme vorkomme, auch Reflex vorhanden sei.

Ist bei dem Budge-Weber'schen Versuche am Vagus keine Reflexwirkung im Spiele, so fällt hiermit natürlich jeder Beweis, welchen man aus der „Hemmungswirkung" für die centrale Natur der im Herzen versteckten Ganglien entnehmen wollte."

Wahrlich das nenne ich Logik! Ein wahres Meisterwerk jener exacten Experimentalphysiologie, welche sich gegen die centrale Natur der Nervenganglien, die Existenz wahrer Hemmungsnerven nur negirend verhalten konnte. Man sehe nur!

Die nur durch Reflex wirkenden Nerven werden durch den constanten Strom erregt.
Nicht alle durch den constanten Strom erregt werdenden Nerven wirken durch Reflex. (Freilich!)
Ergo ist bei dem Budge-Weber'schen Experiment kein Reflex im Spiel. Quod erat demonstrandum.[1])

---

[1]) Bei der eigenthümlichen Art, wie Schiff die Thatsachen darstellt, kann es nicht auffallen, dass er so thut, als hätte ich die centrale Natur der Herz- und Darmganglien beweisen wollen, während ich doch von dieser, als einem Axiom, ausging, um darzuthun, dass die Hemmungsnerven auf jene Ganglien und nicht auf die Muskeln selbst wirken. In meiner Arbeit steht das freilich ganz deutlich. Ich setze die Stelle hierher, damit sich jeder selbst ein Urtheil bilden könne. „Les faits que je viens de communiquer peuvent servir à éclaircir la belle découverte de M. Ed. Weber sur les nerfs dits suspensifs (Hemmungsnerven.) Le célèbre

So also sieht es mit dem Nachweis aus, dass keine Analogie zwischen der Wirkung des Laryngeus auf die Athmung und der Wirkung des Vagus auf das Herz bestehe. SCHIFF wendet sich nun zu der Frage, ob ein genügender Grund vorhanden sei, den Laryngeus als Hemmungsnerv zu bezeichnen, da doch die bisherigen Hemmungsnerven Nichts seien, als die motorischen Nerven ihrer betreffenden Organe, nur ausgezeichnet durch eine ganz besondere „Erschöpfbarkeit." Diese Frage wird verneint. Wir sähen täglich, dass im Centralorgan Bewegungen erregt und andere unterdrückt würden. Diese Unterdrückung werde gewöhnlich durch psychische Eindrücke hervorgerufen.

---

physiologiste de Leipzig a trouvé, comme on sait, que les mouvements du coeur sont suspendus par l'excitation du nerf pneumogastrique et que cet organe reste en diastole pendant toute l'irritation. Depuis, M. PFLUEGER a trouvé que l'irritation du nerf splanchnique fait cesser les mouvements péristaltiques de l'intestin grêle. De même manière l'excitation du nerf laryngé supérieur suspend les mouvements du diaphragme. Dans cette manière de voir, le nerf laryngé superieur serait aussi un véritable nerf suspensif, et nous voyons ainsi que tous les centres nerveux, présidant aux mouvements dits automatiques, possèdent de même des nerfs suspensifs. Mais il existe une grande différence entre les deux nerfs suspensifs sus-nommés et entre le nerf laryngé supérieur; car l'influence suspensive de ceux-là marche des centres nerveux vers leurs organes ou en direction centrifuge; l'influence suspensive de celui-ci, au contraire, est propagée en direction centripète. Or, tandis qu'il faut chercher les centres nerveux des mouvements du coeur et des intestins dans les cellules nerveuses, situées dans ces organes mêmes, le centre nerveux du diaphragme est localisé dans la moelle allongée, selon les recherches de MM. LEGALLOIS et FLOURENS. Encore, si le nerf laryngé supérieur exerceson influence en direction centripète sur la moelle allongée et suspend les mouvements du diaphragme, nous ne pouvons que conclure que les fibres nerveuses suspensives du nerf pneumogastrique et du nerf splanchnique exercent aussi leur influence sur les cellules nerveuses situées dans leurs organes. Cette opinion ayant été supposé par M. ED. WEBER et LUDWIG, le fait que je viens de decouvrir est donc une nouvelle preuve confirmatrice de la supposition de ces physiologistes."

Der Laryngeus sei ein Beispiel, dass auch sensibele Nervenreize das Centralorgan dazu veranlassen können. Deswegen dürfe man ihm aber keine besonderen Eigenschaften zuschreiben, er sei eben Nichts, als ein sensibeler Nerv, und die „Hemmung" bleibe eine Function des Centrums. Der Name der „Hemmungsnerven" sei überhaupt nur vorgeschlagen für centrifugale Nerven, und gerade das Paradoxe der Erscheinung hätte diesen Namen veranlasst. Jetzt, wo bewiesen sei, dass die sogenannten Hemmungsnerven eigentlich die motorischen Nerven ihrer Organe seien (?!), hiesse es nur die Terminologie verwirren, dem Laryngeus jenen Namen beizulegen. Das wäre gerade so, als wolle man den Trigeminus Schliessungsnerven des Auges nennen, weil durch ihn reflectorisch der Sphincter palpebrarum erregt werde. Aber noch mehr: die von mir gefundene Eigenschaft des Laryngeus sei gar nicht seine Function, denn er übe sie nicht stetig. Wenn ich behauptet hätte, dass es eine wichtige Entdeckung sei [1]), dass alle automatischen Erregungscentren auch ihre Hemmungsnerven hätten, so müsste ich dabei jedenfalls an die Möglichkeit einer Regulation gedacht haben. Aber der Laryngeus könne ja gar keine regulatorische Wirkung üben, da er von den Centren aus gar nicht erregt werden könne. Auch könne man beide Laryngei durchschneiden, ohne dass die Athmung häufiger werde, und ohne dass die Thiere sich in irgend einer Weise von gesunden unterschieden. (Die Lähmung des Cricothyreoideus natürlich ausgenommen, wenn man nicht den inneren Ast allein durchschnitten hätte). Uebrigens sei der äussere Ast ganz unwirksam, und ebenso die aus dem Accessorius stammenden Fasern, da der Hemmungsversuch auch

[1]) Ich weiss freilich nicht, wo ich das behauptet haben sollte. In meiner Mittheilung an die Pariser Academie steht es nicht und ebensowenig in dem Vortrage, welchen ich in Königsberg hielt. Schiff kann dies doch nur zwischen den Zeilen gelesen haben. Ob er dazu berechtigt gewesen, möge man aus der oben mitgetheilten Stelle beurtheilen.

gelinge, wenn vorher der Accessorius ausgerissen und seine Fasern ganz entartet seien.

Man sieht, dieser Beweis, dass der Laryngeus kein Hemmungsnerv sei, ist genau eben so scharf, als der erste, dass keine Analogie zwischen ihm und den übrigen Hemmungsnerven bestehe. Dass der Laryngeus die Athembewegungen unterdrücken könne, ist richtig. Da es aber keine Hemmungsnerven giebt, so ist auch der Laryngeus keiner, und da der Laryngeus keiner ist, so giebt es natürlich auch keine. Die Hemmung, sagt Schiff, ist immer nur Sache des Centralorgans, nicht des betreffenden Nerven. Aber wer in aller Welt hat je behauptet, dass ein Hemmungsnerv ein ganz besonderer Nerv sei? Hat man nicht gerade, weil es undenkbar schien, dass ein Nerv bald einen Muskel zur Zusammenziehung bringen, bald die Zusammenziehungen eines Muskels aufheben sollte, hat man nicht, sage ich, gerade hieraus geschlossen, der Unterschied müsse wo anders stecken, nämlich darin, dass der Nerv im letzteren Falle gar nicht auf den Muskel wirke, sondern eben auf das Centralorgan? Und hat Schiff noch niemals davon gehört, dass sehr viele Physiologen sämmtliche Unterschiede, die zwischen den verschiedenen Nerven bestehen, nur auf die verschiedenartige Verknüpfung mit Endorganen aller Art und auf die besonderen Eigenschaften eben dieser Endorgane schieben? Ich kann freilich nicht verlangen, dass Schiff meine Dissertation gelesen habe, in welcher ich gerade diesen Satz von der Gleichheit aller Nerven vertheidigt habe, aber ich frage ihn, was in meiner Mittheilung ihn veranlassen konnte, mir die Meinung zuzuschreiben, als hielte ich die Hemmungsnerven für etwas ganz Besonderes. Heisst es doch in dieser ganz ausdrücklich: „Il existe, dans le nerf laryngé supérieur, des fibres nerveuses, dont l'excitation suspend l'action du centre nerveux découvert par M. Flourens et présidant aux mouvements rhythmiques du diaphragme, et c'est ainsi que l'excitation de ces fibres produit un arrêt du diaphragme correspondant au relâchement. Il me

parait bien probable que ce sont les mêmes fibres, qui maintiennent la sensibilité de la muqueuse laryngienne et par lesquelles la toux est causée; car pendant la toux, le diaphragme est toujours relâché." Also wenn ich Nerven, welche ich als „Hemmungsnerven" bezeichne, ganz klar für die sensiblen erkläre (woraus schon von selbst folgt, dass der äussere, rein motorische Ast jene Wirkung nicht habe, was ich in der kurzen Mittheilung nicht erst erwähnen zu müssen glaubte), so lag zu den Bemerkungen SCHIFF's über die Centren gar keine Veranlassung vor. Und nun erst gar die heilige Entrüstung über die „Verwirrung der Terminologie," und das schöne Gleichniss vom Trigeminus! Ich möchte wol wissen, ob SCHIFF den Lingualis nicht Geschmacks-, den Opticus nicht Gesichts- und die hinteren Wurzeln nicht Gefühlsnerven nennt, da es doch nicht Sache dieser Nerven, sondern der Centren ist, zu schmecken, zu sehen, zu fühlen. In seinem Lehrbuch der Physiologie weiss er noch Nichts von dieser linguistischen Strenge.

SCHIFF's anderer Grund ist nicht minder wichtig. Der Laryngeus empfängt seine Erregung aus der Peripherie, die Centralorgane können keinen Einfluss auf ihn haben, also ist er kein Hemmungsnerv. „Man hat, sagt er, und wie uns scheint mit Recht, die Forderung gestellt, dass die Hemmungsnerven an dem regelmässigen Rhythmus der Functionen nicht ohne Theilnahme seien, und dass sich ihre dauernde Unthätigkeit durch eine entsprechende Veränderung dieses Rhythmus verrathe. Man glaubte sogar, freilich sich bei einer vorschnellen, ungenügenden Analyse der Thatsachen beruhigend, dieser Forderung für Vagus und Splanchnicus experimentell genügt zu haben." Ich muss gestehen, dass ich nicht gewusst habe, dass die stetige Erregung der Hemmungsnerven eine nothwendige Forderung sei. Für den Vagus freilich hat man eine solche stetige Erregung angenommen, weil nach seiner Durchschneidung die Pulsfrequenz zunimmt, aber für den Splanchnicus hat sie bisher Niemand behauptet. Dass die Pulsfrequenz nach Vagusdurchschnei-

dung zunehme, ist als Bestätigung für seine Hemmungsfunction angesehen worden, nicht aber als eine conditio sine qua non. Es wäre gerade so, als hätte Jemand den vorderen Spinalwurzeln die Fähigkeit, Muskeln zur Contraction zu bewegen, abstreiten wollen, als die Lehre vom Tonus durch HEIDENHAIN erschüttert wurde. Einige Nerven werden stetig erregt (z. B. die Irisfasern des Sympathicus), andere nicht. Und ebenso ist es mit den centripetalen Nerven. Diejenigen Fasern des Vagus z. B., deren Einfluss auf die Athmung wir in diesen Blättern studirt haben, erfahren im normalen Leben eine stetige Erregung. Dass die Laryngeusfasern nicht in diesem Falle sind, war schon nach der Oertlichkeit, in welcher sie enden, wahrschein. lich. Zwar hatte LONGET behauptet, dass die Athmung nach Durchschneidung beider Laryngei häufiger werde, aber wenn ich mich nicht durch meine Versuche vom Gegentheil überzeugt hätte, so würde ich gewiss nicht unterlassen haben, es zu sagen. So begnügte ich mich, in den wenigen, oben mitgetheilten Worten anzudeuten, wann nach meiner Ansicht diese Function des Nerven von Bedeutung werde, nämlich beim Husten. Die Aufgabe der Experimentalphysiologie ist meiner Meinung nach die, Eigenschaften der einzelnen Theile des Organismus zu studiren. Ob von einer solchen Eigenschaft im Organismus selten oder oft Gebrauch gemacht wird, ist zunächst ganz gleichgültig. Diesen Maassstab legt doch nur der an, welcher gewohnt ist, statt mit unbefangenem Blick die Erscheinungen zu prüfen, durch die stets subjectiv gefärbte Brille teleologischer Auffassungen zu sehen. Etwas ganz Anderes ist es, ob eine einzelne Thatsache geeignet ist, auf andere verwandte ein Licht zu werfen, zu deren Verständniss beizutragen. Die einzelne Thatsache gewinnt dann ein allgemeineres, ein theoretisches Interesse. Da mir dies nun bei der von mir gefundenen der Fall zu sein schien, so machte ich auf die Folgerungen aufmerksam, welche sie nach meiner Meinung gestattete. Wenn übrigens SCHIFF meint, dass zu dem Begriff der „Function“ eines Nerven die stetige Erregung noth-

wendig gehöre, so mag ihm das bei seiner Vorliebe für eine eigene Terminologie unbenommen sein. Nur muss er dann auch den hinteren Wurzeln die „Function" abstreiten, Empfindungen zu leiten u. s. w. u. s. w. Dies ist dann, mit ihm zu reden, keine „Function", sondern eine „beiläufige Eigenthümlichkeit" jener Fasern.

Schliesslich wird gegen die Bezeichnung des Laryngeus als „Hemmungsnerv der Athembewegungen" noch angeführt, dass auch die Erregung anderer Nerven einen ähnlichen Erfolg habe, als die des Laryngeus. Es war hiervon schon oben die Rede. Wenn zwei oder viele Nerven das Gleiche bewirken, so ist das gewiss kein Grund, einen Namen nicht zu gebrauchen, welcher einmal für diesen ganz bestimmten Begriff eingeführt ist. Spricht doch auch MOLESCHOTT von vier Bewegungsnerven des Herzens; warum sollte es nicht auch viele Hemmungsnerven der Athmung geben? Etwas anderes freilich ist es, ob die von SCHIFF gefundenen Veränderungen der Athmung bei Erregung jener Nerven wirklich mit denen bei Laryngeusreizung identisch seien. In dieser Beziehung habe ich schon im vorigen Capitel auf so manche Unterschiede hingewiesen.

Wenn demnach diese Einwände gegen die Lehre von den „Hemmungsnerven" nicht die zwingende Nothwendigkeit haben, welche man wol verlangen muss, wo es gilt, eine bisher allgemein angenommene, die Thatsachen auf einfache Weise erläuternde Theorie zu stürzen, so glaube ich mich keiner tadelnswerthen „Kühnheit" schuldig zu machen, wenn ich bei meiner Vergleichung des Vagus und Laryngeus stehen bleibe und mir schmeichle, eine neue Stütze für die WEBER-LUDWIG'sche Auffassung beigebracht zu haben. Es könnte aber andererseits die Frage aufgeworfen werden, ob nicht beim Herzen auch, wie bei dem Respirationsapparat Nerven existiren, welche die hypothetischen Widerstände verkleinern. Wer denkt hier nicht sogleich an die vielen Bemühungen, durch Reizung des Sympathicus Vermehrung der Pulsfrequenz zu erzielen? Da aber diese Be-

mühungen bisher noch immer gescheitert sind, da auch der neueste Beobachter auf diesem Gebiete, v. Bezold, keine Einwirkung jenes Nerven auf das Herz nachweisen konnte, so müssen wir die Existenz eines Nerven, welcher für das Herz die Rolle spielt, wie der Vagus für die Athmung, vor der Hand für unerwiesen halten.

DRUCK VON H. S. HERMANN IN BERLIN.

Taf. I.

Fig. 1.

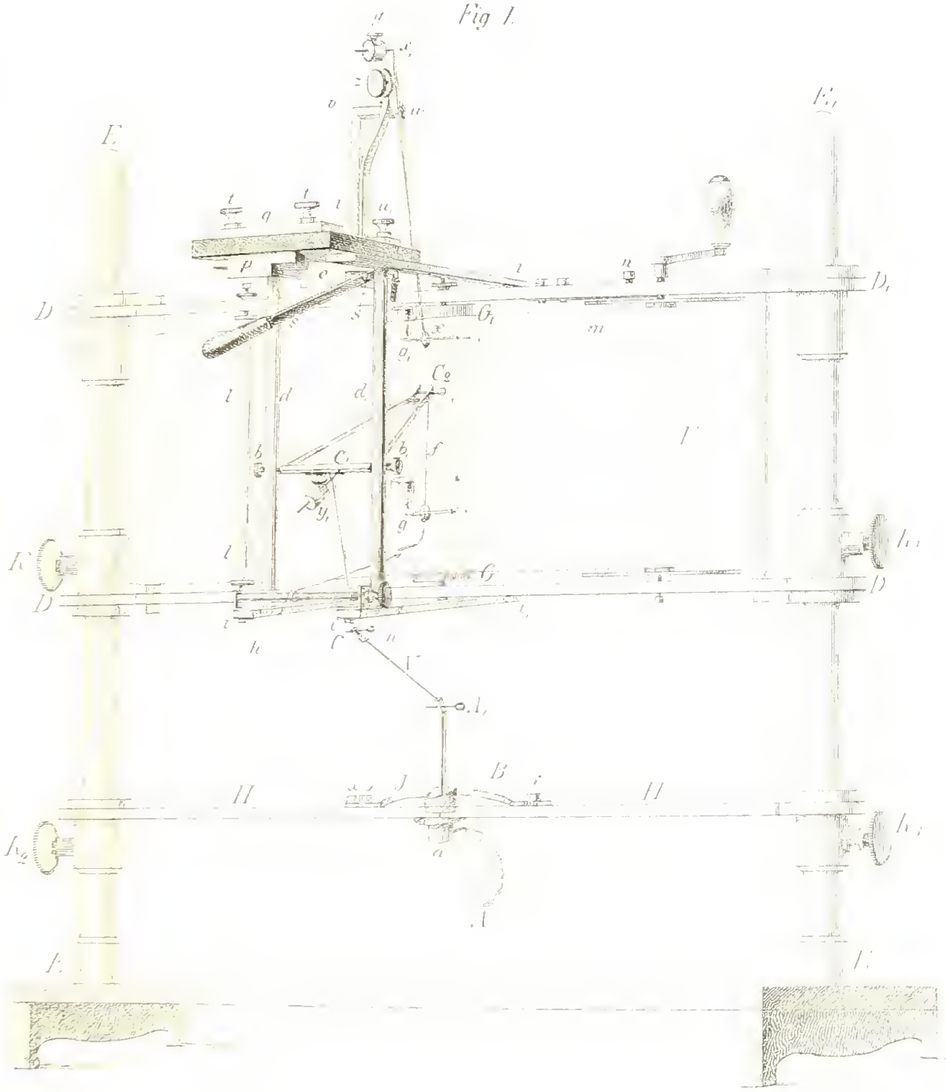


Fig. 4.

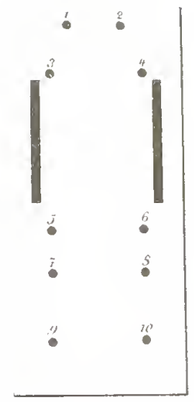


Fig. 2

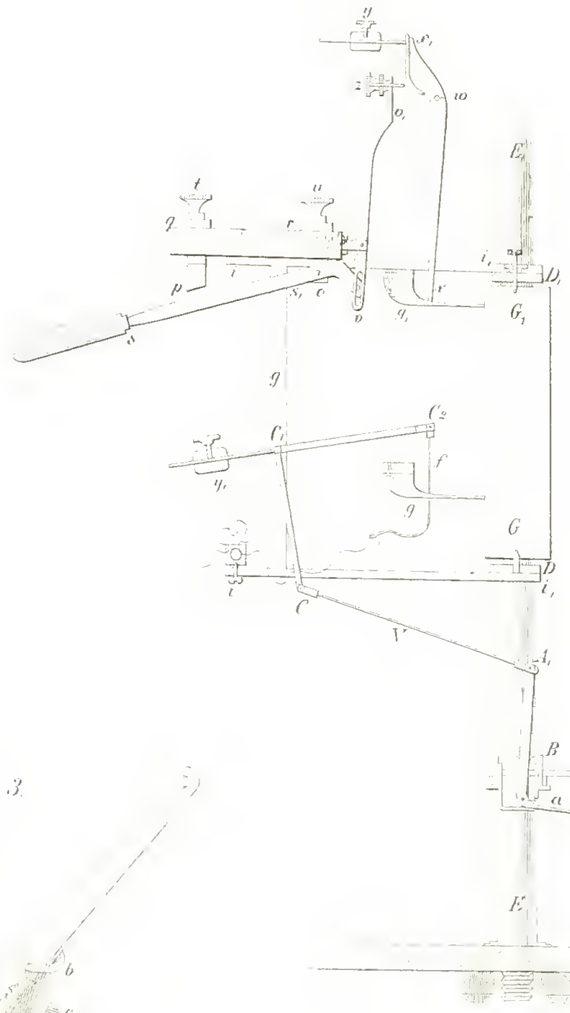


Fig. 3.

Fig 2

Fig 1

Fig 3

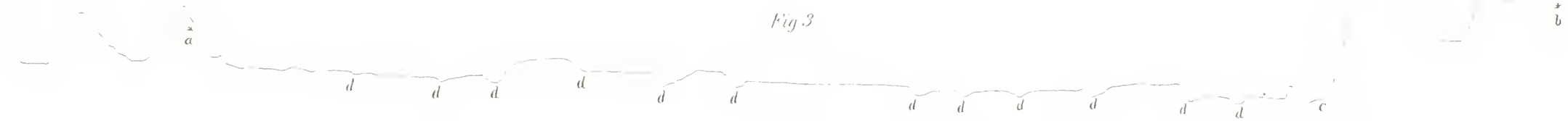


Fig 4

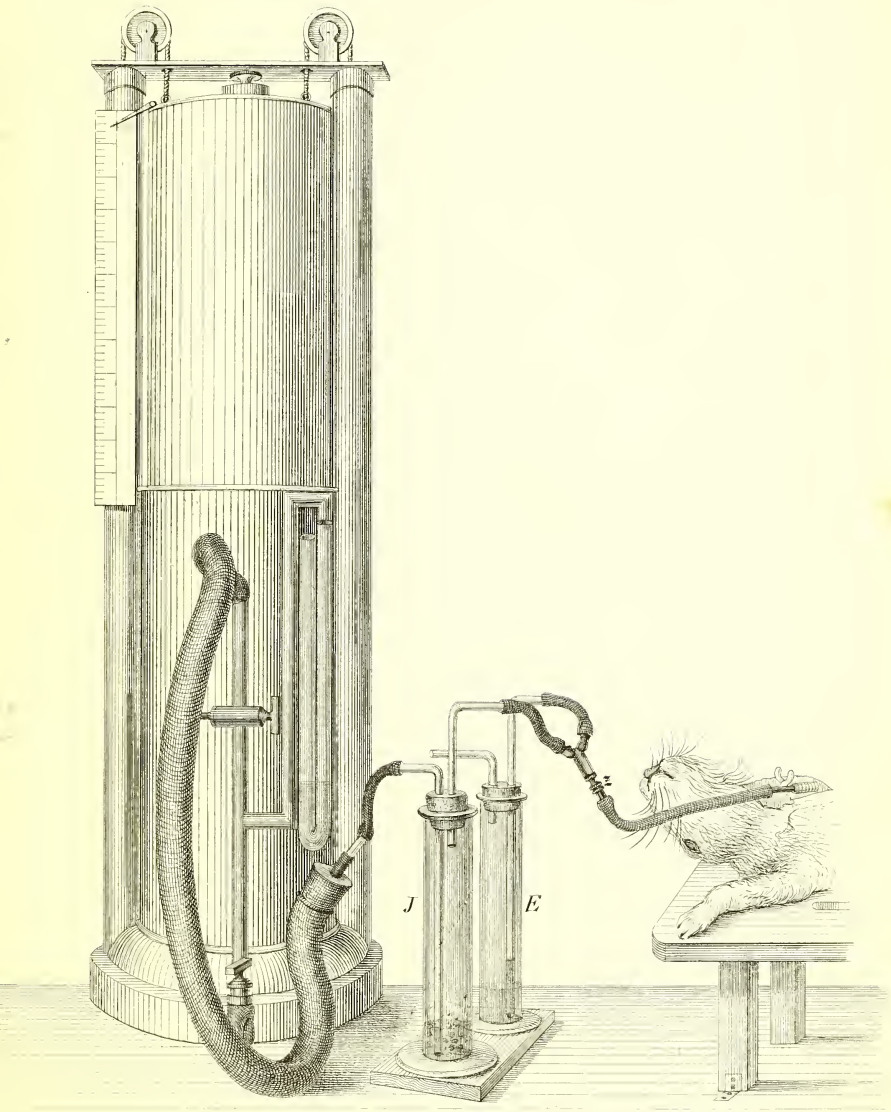
Fig 5

Fig 6

Fig 7

Fig 8

Fig 9



A. Schütze v. Stein gez.